

## **Введение**

Пояснительная записка содержит — \_\_ страницы, \_\_ рисунков, \_\_ таблиц, \_\_ ссылок на источники.

Ключевые слова: интегрированная экспертная система, задачно-ориентированная методология, инструментальный комплекс АТ-ТЕХНОЛОГИЯ.

Целью данной учебно-исследовательской работы является разработка средствами комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ демонстрационного прототипа интегрированной экспертной системы для проблемной области «Медицинская ультразвуковая диагностика» и углубленное программное исследование универсального АТ-РЕШАТЕЛЯ.

В первом разделе представлены результаты анализа методов и средств построения интегрированных экспертных систем (ИЭС) на основе задачно-ориентированной методологии, исследования функциональных возможностей инструментального комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ и технологии разработки прикладных ИЭС, отчет об обследовании проблемной области «Медицинская диагностика» (ультразвуковое исследование), результаты исследования функциональных возможностей универсального АТ-РЕШАТЕЛЯ (базовая версия комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ).

Во втором разделе приводится модель архитектуры прототипа ИЭС (базовые средства АТ-ТЕХНОЛОГИЯ), модель проблемной области на основе использования средств поддержки комбинированного метода приобретения знаний (КМПЗ), описание модели и сценария диалога с пользователем, сценарий тестирования основных компонентов АТ-РЕШАТЕЛЯ.

В третьем разделе представлены результаты проведения полного цикла разработок по созданию, верификации и обработке знаний с помощью базовых компонентов комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ, программной реализации и тестирования компонентов прототипа ИЭС с использованием базовых средств комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ, отчет о разработке тест-примеров функционирования прототипа ИЭС для проблемной области «Медицинская ультразвуковая диагностика», результаты программного исследования универсального АТ-РЕШАТЕЛЯ и разработки предложений по дальнейшему развитию и реинжинирингу АТ-РЕШАТЕЛЯ на новой платформе.

# Оглавление

<b>Введение .....</b>	<b>1</b>
<b>1. Анализ современных методов и средств построения интегрированных экспертных систем .....</b>	<b>4</b>
<b>1.1. Анализ методов и средств построения интегрированных экспертных систем на основе задачно-ориентированной методологии .....</b>	<b>4</b>
1.1.1. Основные принципы задачно-ориентированной методологии, используемые для построения интегрированных экспертных систем.....	4
1.1.2. Анализ спецификации модели задачно-ориентированной методологии в инструментальном комплексе АТ-ТЕХНОЛОГИЯ .....	5
<b>1.2. Исследование функциональных возможностей инструментального комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ и технологии разработки прикладных интегрированных экспертных систем .....</b>	<b>6</b>
1.2.1. Общая архитектура инструментального комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ.....	6
1.2.2. Общий цикл работы с инструментальным комплексом АТ-ТЕХНОЛОГИЯ и основные этапы разработки интегрированных экспертных систем.....	7
<b>1.3. Анализ, выбор и обследование проблемной области «Медицинская диагностика» (ультразвуковое исследование) .....</b>	<b>9</b>
1.3.1. Краткая характеристика источников знаний и методов получения знаний. ....	9
1.3.2. Глоссарий предметной области .....	9
1.3.3. Неформализованные задачи.....	10
1.3.4. Логическая взаимосвязь решаемых задач.....	10
1.3.5. Системный анализ предметной области на применимость технологии систем, основанных на знаниях.....	11
<b>1.4. Исследование функциональных возможностей универсального АТ-РЕШАТЕЛЯ (базовая версия комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ).....</b>	<b>11</b>
1.4.1. Модель и структура универсального АТ-РЕШАТЕЛЯ .....	11
1.4.2. Обобщенная модель и особенности вывода, используемые универсальным АТ-РЕШАТЕЛЕМ.....	14
<b>1.5. Выводы.....</b>	<b>17</b>
<b>1.6. Цели и задачи учебно-исследовательской работы.....</b>	<b>17</b>
<b>2. Разработка комплекса моделей, предусмотренных задачно-ориентированной методологией.....</b>	<b>18</b>
<b>2.1. Построение модели архитектуры прототипа интегрированной экспертной системы (базовые средства АТ-ТЕХНОЛОГИЯ) .....</b>	<b>18</b>
<b>2.2. Спецификация модели задачи диагностики для проблемной области «Медицинская диагностика» (ультразвуковое исследование).....</b>	<b>19</b>
<b>2.3. Построение модели и сценария диалога с пользователем (язык ЯОСД) .....</b>	<b>20</b>
<b>3. Проектирование и программная реализация прототипа интегрированной экспертной системы .....</b>	<b>28</b>
<b>3.1. Разработка архитектуры, состава и структуры демонстрационного прототипа интегрированной экспертной системы.....</b>	<b>28</b>
3.1.1. Этап анализа системных требований .....	28

3.1.2.	Этап детального проектирования .....	30
3.1.3.	Этап реализации .....	31
3.1.4.	Этап тестирования.....	31
<b>3.2.</b>	<b>Особенности программной реализации и тестирование компонентов прототипа интегрированной экспертной системы.....</b>	<b>31</b>
<b>3.3.</b>	<b>Разработка тест-примеров функционирования прототипа интегрированной экспертной системы для проблемной области «Медицинская ультразвуковая диагностика» .....</b>	<b>32</b>
<b>3.4.</b>	<b>Разработка сценария тестирования основных компонентов АТ-РЕШАТЕЛЯ.....</b>	<b>33</b>
<b>3.5.</b>	<b>Программное исследование универсального АТ-РЕШАТЕЛЯ и разработка предложений по дальнейшему развитию и реинжинирингу АТ-РЕШАТЕЛЯ на новой платформе.....</b>	<b>36</b>
3.5.1.	Общая архитектура универсального АТ-РЕШАТЕЛЯ и его компонентов .....	36
3.5.2.	Программные ошибки в реализации текущей версии универсального АТ-РЕШАТЕЛЯ и предложения по реинжинирингу .....	38
<b>4.</b>	<b>Заключение.....</b>	<b>42</b>
<b>5.</b>	<b>Список литературы .....</b>	<b>43</b>

# **1. Анализ современных методов и средств построения интегрированных экспертных систем**

## **1.1. Анализ методов и средств построения интегрированных экспертных систем на основе задачно-ориентированной методологии**

### **1.1.1. Основные принципы задачно-ориентированной методологии, используемые для построения интегрированных экспертных систем**

Наиболее перспективной базой для создания единого подхода к разработке интегрированных экспертных систем (ИЭС) является задачно-ориентированная методология построения ИЭС [1-3], разработанная профессором Г.В.Рыбиной, и предназначенный для её поддержки инструментальный комплекс АТ-ТЕХНОЛОГИЯ. Данная методология обеспечивает автоматизированное построение статических, динамических и обучающих ИЭС для широких классов проблемных областей.

В соответствии с работами [1-3], задачно-ориентированная методология включает в себя пять основных принципов:

1. Усовершенствование ЭС путем включения нетрадиционных для них функций.
2. Построение иерархии моделей ЭС с точки зрения различных уровней интеграции
3. Моделирование конкретных типов НФ-задач
4. Ориентация на модель решения типовой задачи
5. Определение совокупности и подчиненности этапов жизненного цикла (ЖЦ) построения ИЭС

Также в качестве определяющего принципа задачно-ориентированной методологии выделяется автоматизированная *методология приобретения знаний*.

В задачно-ориентированной методологии с точки зрения базовых принципов построения ИЭС в работе [1] указывается, что наиболее важными аспектами моделирования являются *функциональный аспект* – характеризующий назначение объекта, и *структурный аспект* – характеризующий все возможные отношения между рассматриваемыми сущностями ПрО. Данные аспекты дают возможность достаточно автономно построить модель задачно-ориентированной методологии и описать с помощью традиционного математического аппарата, например, теории множеств.

Каждый из базовых принципов задачно-ориентированной методологии подробно описан в работах [1-3], поэтому уделим основное внимание модели реализации методов задачно-ориентированной методологии и средствам ее поддержки на различных этапах ЖЦ

построения ИЭС, как мощную автоматизированную технологию построения ИЭС, в инструментальном комплексе АТ-ТЕХНОЛОГИЯ.

### **1.1.2. Анализ спецификации модели задачно-ориентированной методологии в инструментальном комплексе АТ-ТЕХНОЛОГИЯ**

В работе [1] модель комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ представляется в виде:  $M_{AT-T} = \langle M_{ИЭС}, M_{ИНСТР}, M_{ЖЦ}, M_{Тun3}, M_{КМПЗ}, O_{ИЭС-ИНСТР}, O_{ИЭС-Tun3}, O_{Tun3-КМПЗ}, O_{ЖЦ-ИНСТР} \rangle$ , где  $M_{Ti}$  – частичные модели,  $O_{Ti-Tj}$  – отображения между этими моделями. Кроме того, данная модель дополняется частичной моделью  $M_{ПЛАН}$  и отображениями  $O_{ПЛАН-ИЭС}$ ,  $O_{ПЛАН-ИНСТР}$ . Дополнение  $M_{ПЛАН}$  обеспечивает «интеллектуализацию» построения ИЭС, поскольку в систему включаются такие компоненты как набор технологических БЗ о различных этапах построения ИЭС и средства вывода.

Предложенная модель отражает автоматизированную технологию построения ИЭС, то есть, задачно-ориентированную методологию в комплексе с поддерживающими ее ИС на каждом этапе ЖЦ разработки ИЭС. Каждый из компонентов этой модели подробно рассмотрен в работах [1-4], поэтому кратко опишем их и основное внимание уделим модели ЖЦ построения ИЭС.

В соответствии с работой [1], предложенная модель ЖЦ содержит следующие этапы построения ИЭС:

- Анализ системных требований пользователей на разработку интегрированных экспертных систем и построение модели архитектуры таких систем.
- Прямое извлечение знаний из экспертов, ЕЯ-текстов, БД, структурирование полученных знаний в виде поля знаний и построение базы знаний о ПрО.
- Реализация простых продукционных функций, СОЗ (ЭС), гипертекстовых моделей общения.
- Реализация функций, обеспечивающих интеграцию традиционных средств СОЗ (ЭС) с СУБД и пакетами прикладных программ (ППП) расчетного и графического характера.
- Проектирование с использованием интеллектуального планировщика всех компонентов прикладной ИЭС.
- Программирование, конфигурирование и тестирование прототипов ИЭС.

Данные этапы являются отражением базовых принципов задачно-ориентированной методологии. Задачно-ориентированная методология предполагает автоматизацию каждого из этапов путем использования иерархии модели ИЭС, моделей конкретных типов задач, описанных в работе [1], моделей решения типовых задач, а также методы автоматизированного приобретения знаний о проблемной области в рамках комбинированного метода приобретения знаний (КМПЗ), описанного в работах [1].

Таким образом в материалах работ [1-4] построена онтология концептуальных моделей программных архитектур статических ИЭС, предложены модели ЖЦ и автоматизированной технологии построения ИЭС в рамках задачно-ориентированной методологии, разработана многоуровневая модель процессов интеграции ИЭС, моделирование конкретных типов задач, предложены методы и способы построения программной архитектуры ИЭС и ее компонентов на каждом уровне интеграции. Реализация данной модели – есть автоматизированная технология (АТ-ТЕХНОЛОГИЯ) построения ИЭС.

## 1.2. Исследование функциональных возможностей инструментального комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ и технологии разработки прикладных интегрированных экспертных систем

### 1.2.1. Общая архитектура инструментального комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ

Инструментальный комплекс АТ-ТЕХНОЛОГИЯ третьего поколения [1,3] предназначен для компьютерного построения прикладных ИЭС в статических проблемных областях. Комплекс полностью поддерживает задачно-ориентированную методологию построения ИЭС, детально описанную в работе [1], и 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 имеющихся программных средств (ПС), конкретной моделью ЖЦ создания программного обеспечения ИЭС. Общая архитектура инструментального комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ изображена на рисунке Рис.1.

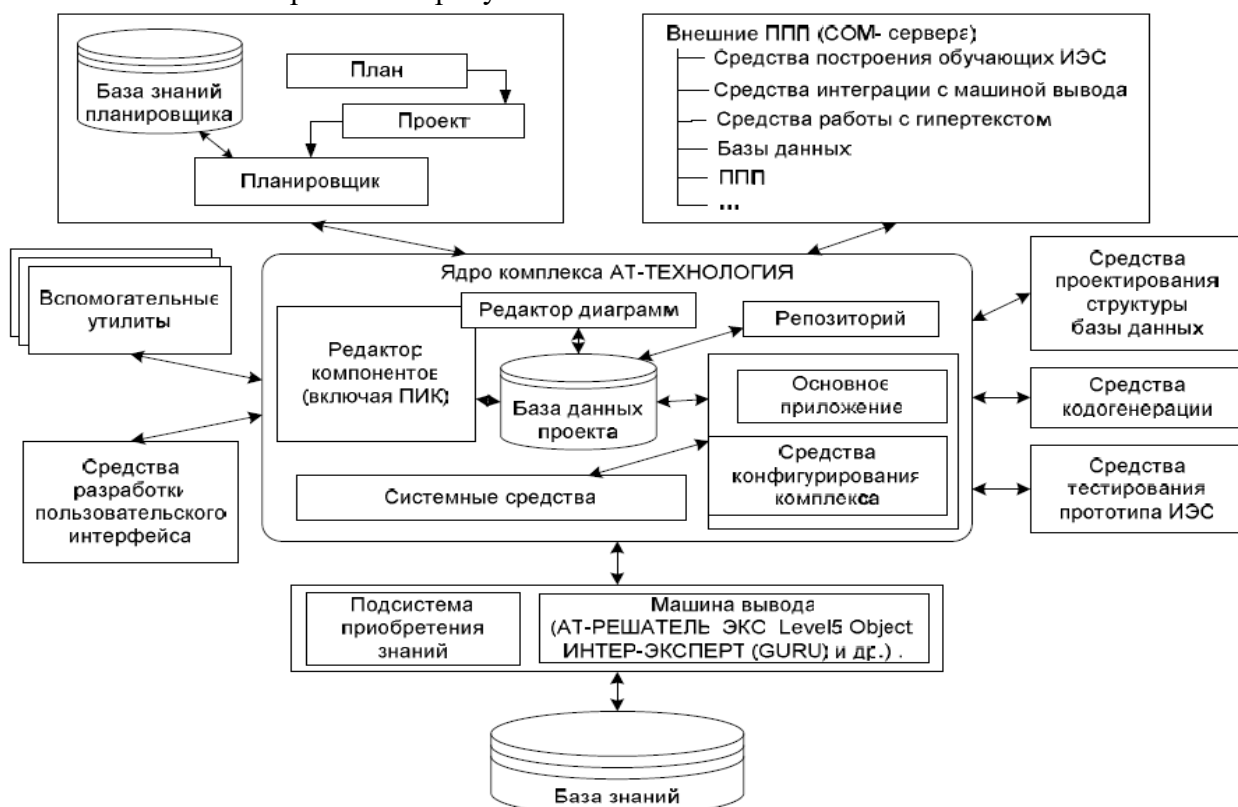


Рис. 1. Общая архитектура инструментального комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ

В состав комплекса входят ПС, обеспечивающие реализацию конкретного набора функциональных возможностей по созданию ИЭС, который может рассматриваться как совокупность следующих базовых процедур, предусмотренных моделью ЖЦ построения ИЭС, описанной в работе [1]:

- Процедуры построения модели архитектуры ИЭС на основе анализа системных требований пользователя (АСТП) на разработку ИЭС.
- Процедуры извлечения знаний из экспертов и проблемно-ориентированных ЕЯ-текстов, структурирования полученных знаний и формирования БЗ о проблемной области.
- Процедуры реализации функций традиционной (простой продукционной) ЭС.
- Процедуры реализации гипертекстовой модели общения.
- Процедуры реализации обучающих функций (формирование модели обучаемого, обучения, объяснения).
- Процедуры реализации функций, обеспечивающих интеграцию средств представления и обработки знаний в ЭС с традиционными методами БД (СУБД).
- Процедуры создания интерфейса ЭС с ППП расчетного и графического характера.
- Процедуры проектирования элементов (блоков) прикладной ИЭС.
- Процедуры программирования, конфигурирования и тестирования прототипов.
- Процедуры реализации сервисных функций.

#### **1.2.2. Общий цикл работы с инструментальным комплексом АТ-ТЕХНОЛОГИЯ и основные этапы разработки интегрированных экспертных систем**

Функциональная структура комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ, обеспечивающая основной цикл работы при построении ИЭС в работе [1] изображается в виде схемы, представленной на рисунке Рис.2.

Часть изображенного функционала поддерживают авторизацию доступа к системе, регистрацию новых проектов и планирование процессов разработки ИЭС. Другие функции специфицируют и обеспечивают выбор архитектуры ИЭС и ее компонентов на основе знаний о технологии построения ИЭС.

Таким образом, построение ИЭС в комплексе АТ-ТЕХНОЛОГИЯ предполагает автоматизированный переход от одного этапа к другому.

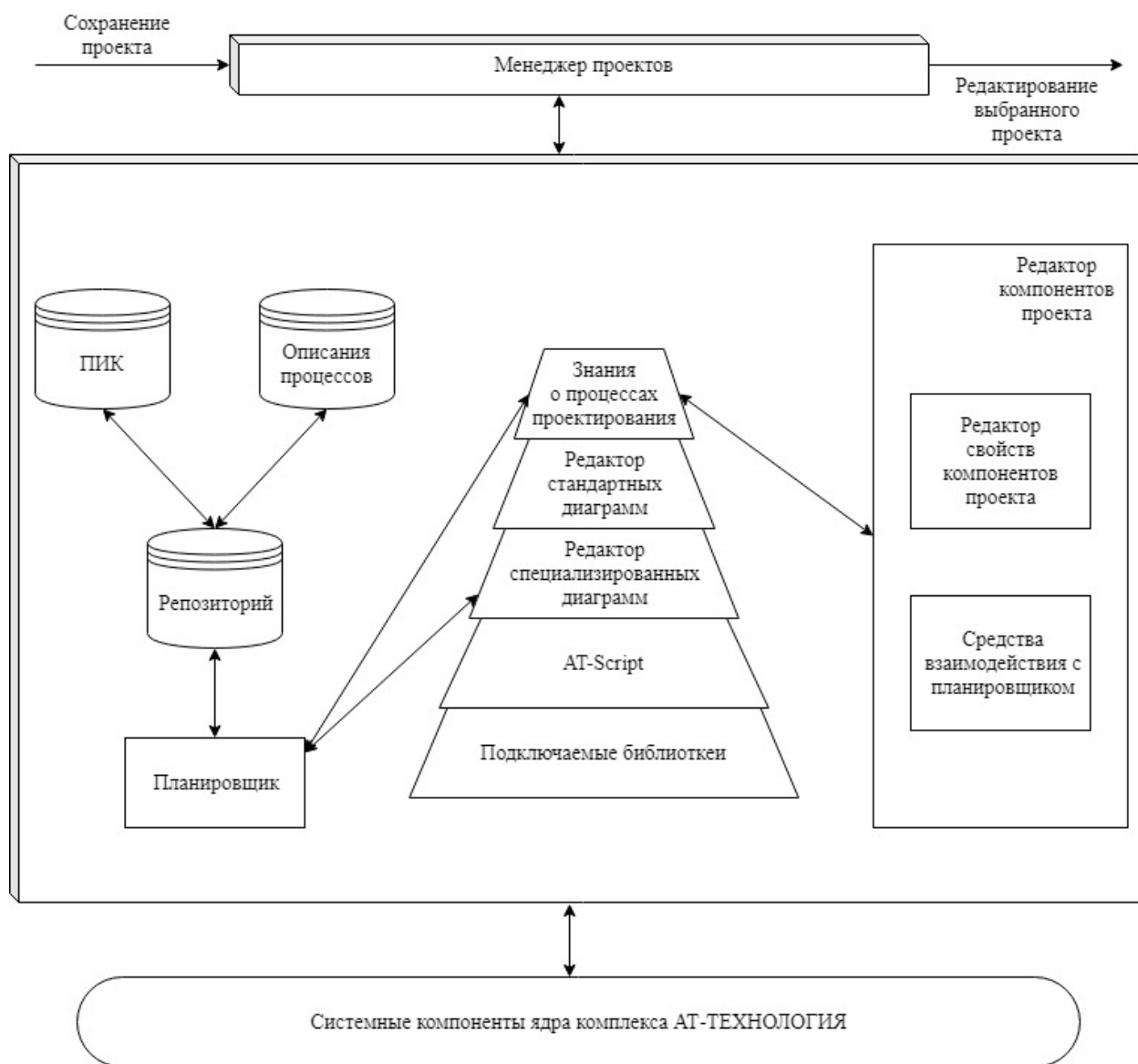


Рис. 2. Общий цикл работы с комплексом AT-ТЕХНОЛОГИЯ

В соответствии с работами [1-4], процесс построения ИЭС для статических ПрО в инструментальном комплексе AT-ТЕХНОЛОГИЯ делится на следующие этапы:

1. Анализ системных требований к прототипу ИЭС. Построение архитектуры прототипа. Приобретение знаний.
2. Проектирование прототипа: включение необходимых программных компонентов в состав прототипа и конфигурирование каждого из компонентов.
3. Реализация прототипа: разработка сценария диалога и подсистемы объяснения, настройка средств вывода и формирования отчетности.
4. Тестирование и отладка работы прототипа для различных стратегий вывода в режиме консультации, проверка корректности рекомендаций системы.

Дадим краткую характеристику каждого из этапов.

На первом этапе решаются вопросы типа «что должна делать будущая ИЭС?». Целью данного этапа является преобразование общих и неясных знаний пользователя о работе



системы в точные определения. Важная особенность этого этапа состоит в том, что дополнительно на этом этапе происходит извлечение и структурирование знаний. Сформированная в задачно-ориентированной методологии методика процессов извлечения, структурирования, верификации и формализации знаний позволила автоматизировать этот этап в комплексе АТ-ТЕХНОЛОГИЯ.

На втором этапе даются ответы на вопросы типа «каким образом ИЭС будет удовлетворять системным требованиям?». Задачами данного этапа являются: проектирование общей программной архитектуры ИЭС, включая разработку структуры и интерфейсов компонентов, и детальное проектирование, связанное с разработкой спецификаций каждого компонента ИЭС, интерфейсов между ними и плана интеграции компонентов.

Отметим, что по завершении этих двух этапов, мы получим проект ИЭС, содержащий достаточно информации для программирования и тестирования прототипа ИЭС, что и является задачей последующих этапов.

### **1.3. Анализ, выбор и обследование проблемной области «Медицинская диагностика» (ультразвуковое исследование)**

В данном разделе представлен фрагмент обследования ПрО. Полное обследование представлено в приложении.

#### **1.3.1. Краткая характеристика источников знаний и методов получения знаний.**

В процессе обследования проблемной области в направлении ультразвуковой диагностики рака молочной железы получение знаний происходило путем интервьюирования врача-эксперта Ковынева А. В. и исследования рекомендованной им литературы [6-8].

Интервьюирование проводилось комбинированным методом с акцентом на методы решения типовых задач.

#### **1.3.2. Глоссарий предметной области**

**Опухоль (образование)** - патологические образования, возникающие вследствие нарушения механизмов контроля деления, роста и дифференцировки клеток. Клинически опухоли представляют собой очаги роста патологической (анормальной) ткани в различных органах и структурах организма.

Ультразвуковая диагностика рака молочной железы включает в себя этапы выявления образований в ткани и диагностики этих образований на злокачественность.

**Злокачественное образование** — это образование, свойства которого чаще всего делают её крайне опасной для жизни организма, что и дало основание называть его «злокачественным». Злокачественное образование состоит из злокачественных клеток.

Клетки доброкачественных образований в процессе опухолевой (неопластической) трансформации утрачивают способность контроля клеточного деления, но сохраняют способность (частично или почти полностью) к дифференцировке. По своей структуре доброкачественные образования напоминают ткань, из которой они происходят (эпителий, мышцы, соединительная ткань). Характерно также и частичное сохранение специфической функции ткани.

В процессе диагностики образования исследуются различные его характеристики: эхогенность, эхоструктура, форма, контуры, различные показатели кровотока.

**Эхогенность** – степень отражения ультразвукового сигнала. Наиболее точно эхогенность объекта определяется субъективно врачом на основании своего опыта.

**Эхоструктура** – показатель однородности эхогенности образования.

### 1.3.3. Неформализованные задачи

В исследуемой проблемной области две неформализованные задачи:

1. Диагностика образования в В-режиме

**Дано:** набор признаков, полученных при исследовании изображения образования

**Требуется:** определить первоначальный уровень риска злокачественности образования

Тип данной НФ-задачи – «Диагностика»

2. Подтверждение или ослабление диагноза, полученного в В-режиме, за счет исследования образования в доплеровском режиме

**Дано:** первичный диагноз, полученный из В-режима, уровень кровотока в образовании, полученный при исследовании образования в доплеровском режиме, симптомы и показания пациента.

**Требуется:** определить итоговый уровень риска и назначить дальнейшее обследование или лечение.

### 1.3.4. Логическая взаимосвязь решаемых задач

Результаты, полученные в первой задаче, используются как данные, необходимые для решения второй задачи. Вторая задача является подтверждающим или ослабляющим критерием для результата первой задачи. Данная взаимосвязь отображена на рисунке Рис.3.

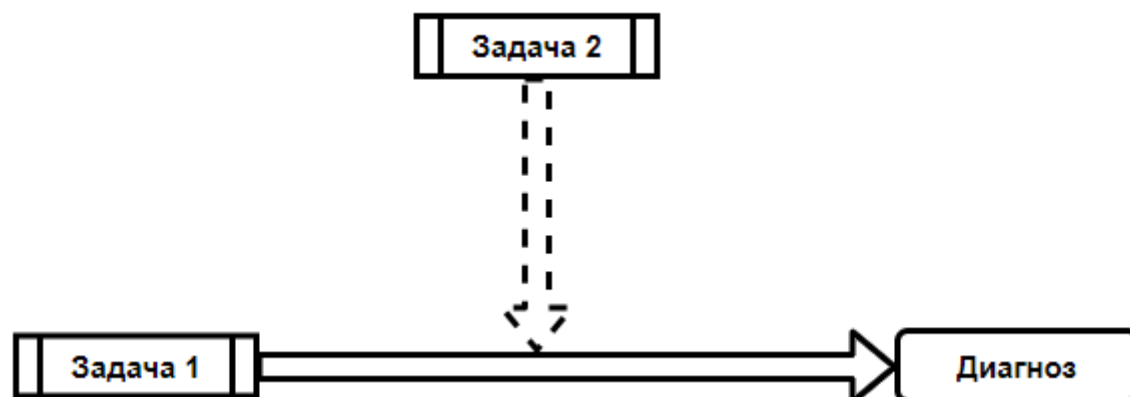


Рис. 3. Логическая взаимосвязь задач.

### **1.3.5. Системный анализ предметной области на применимость технологии систем, основанных на знаниях**

#### **1) Анализ на уместность**

Задача связана с логическими рассуждениями, анализом, перебором вариантов, поскольку диагностика рака молочной железы предполагает исследование многочисленных сочетаний различных факторов и показателей.

Задача не имеет четкого алгоритмического решения, поскольку существует почти неограниченное количество ситуаций, приводящих к неоднозначности, и выявить решающие факторы практически не представляется возможным.

Диагностика рака молочной железы не является простой задачей, так как без привлечения ЭВМ задача во многих ситуациях трудна для разрешения.

Также данная задача представляет большой интерес для практики, поскольку онкологические заболевания молочной железы сильно распространены, и существует необходимость как можно раньше выявить заболевание.

Задача не является слишком крупной для ЭВМ.

#### **2) Анализ на возможность**

Задача не имеет общедоступных знаний. Для диагностики рака молочной железы требуется широкий спектр специализированных знаний.

Задача требует интеллектуальных навыков, так как ультразвуковая диагностика строится на рассуждениях.

Эксперты могут вербализовать и объяснить применяемые для решения задачи методы.

Существует огромное множество квалифицированных специалистов в рамках данной проблемной области и задачи.

В подавляющем большинстве решений, применяемых к задаче, эксперты единодушны.

Задача не является слишком трудной, эксперт может за небольшой промежуток времени поставить диагноз.

Задача не требует разработки новых методов решения, так как в настоящее время исследования в данном направлении позволяют добиться точной и своевременной диагностики.

Полное обследование предметной области представлено в приложении.

## **1.4. Исследование функциональных возможностей универсального АТ-РЕШАТЕЛЯ (базовая версия комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ)**

### **1.4.1. Модель и структура универсального АТ-РЕШАТЕЛЯ**

Универсальный АТ-РЕШАТЕЛЬ является повторно-используемым компонентом в качестве средства вывода в комплексе АТ-ТЕХНОЛОГИЯ и прототипов ИЭС, разработанных с помощью данного комплекса. Базовая версия компонента АТ-РЕШАТЕЛЬ обеспечивает поддержку прямого, обратного и смешанного вывода, поиск решения в

глубину, разрешение конфликтов, обработка различных типов НЕ-факторов знаний, поддержку метода ведения уточняющих поддиалогов.

В работе [1] АТ-РЕШАТЕЛЬ представляется в виде:  $I = \langle V, S, K, W \rangle$ , где  $V$  – процесс, осуществляющий выбор из  $P$  и  $R$  подмножества активных продукций  $P_v$  и подмножества активных данных  $R_v$  соответственно, которые будут использоваться в цикле работы решателя;  $S$  – процесс сопоставления, определяющий множество означиваний, т.е. множество пар  $(p_i, \{d_i\})$ , где  $p_i \in P_v$ ,  $\{d_i\} \subset R_v$ ;  $K$  – процесс разрешения конфликтов, определяющий, какое из означиваний будет выполняться;  $W$  – процесс осуществления выполнения правила. Общая структура решателя, представленная в работе [5] изображается в виде схемы, представленной на рисунке Рис.4. Каждый этап функционирования АТ-РЕШАТЕЛЯ подробно рассмотрен в работе [5], поэтому кратко рассмотрим методы реализации расчетов, выполняемых в процессе сопоставления конкретно на фазе обработки НЕ-факторов.

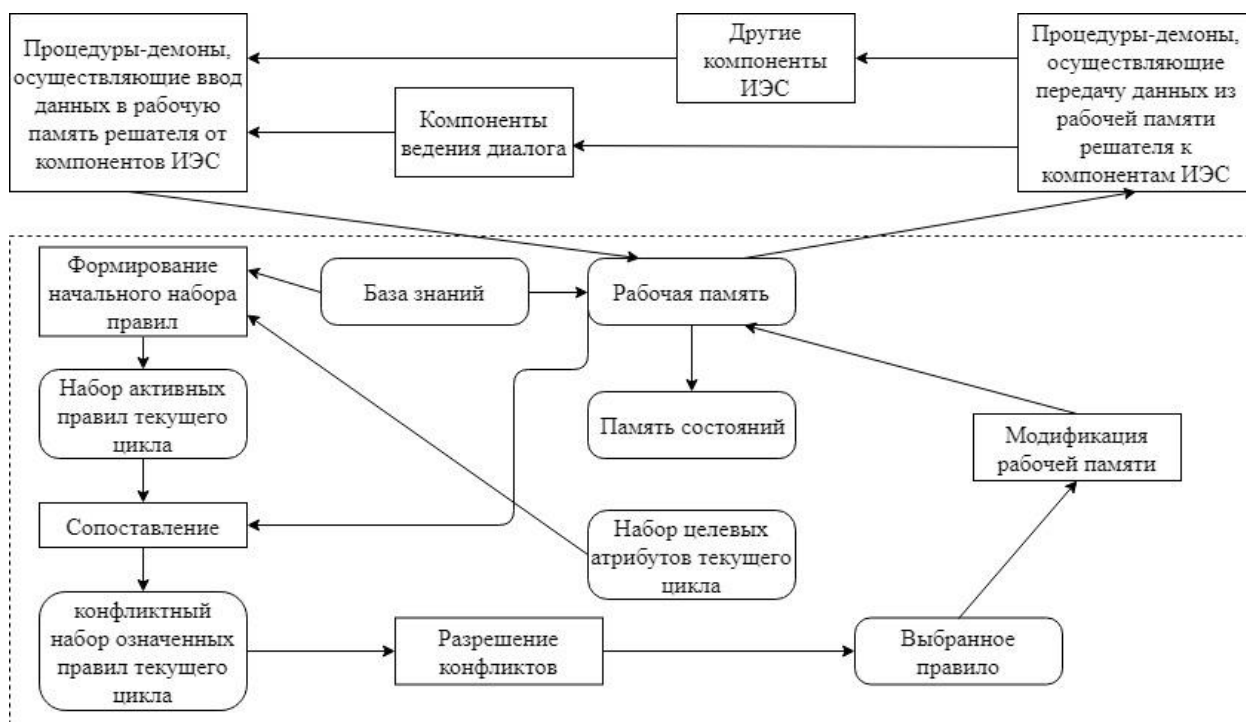


Рис. 4. Структура АТ-РЕШАТЕЛЯ

Кроме того, универсальный АТ-РЕШАТЕЛЬ поддерживает подтверждение гипотез относительно целей вывода. По исследованиям, представленным в работе [5], для этой задачи часто возникают ситуации, когда решателю не хватает фактов. Поэтому ставится дополнительная задача разработки модели ведения уточняющих поддиалогов.

Рассмотрим кратко некоторые особенности универсального АТ-РЕШАТЕЛЯ, описанные в работе [5]. В качестве первой особенности модели АТ-РЕШАТЕЛЯ можно выделить модель рабочей памяти. В работе [5] она представлена в виде:  $M_{wm} = \langle M'_{kb},$

$M'_{metakb}, M_{problem}, State>$ , где  $M'_{kb}$  – отображение БЗ в рабочей памяти ( п. 2.3);  $M'_{metakb}$  – отображение мета-БЗ в рабочей памяти;  $M_{problem}$  – решаемая в данный момент задача;  $State$  – текущее состояние решения задачи. Также обособляется модель представления задачи в рабочей памяти. В материалах работ [4-5] она представлена в виде  $M_{problem} = \langle ProblemDesc, ProblemType, ProblemGoals, ProblemFacts \rangle$ , где  $ProblemDesc$  – описание решаемой задачи;  $ProblemType$  – один из типов неформализованных задач, определенных в задачно-ориентированной методологии. Информация о типе задачи необходима для настройки средств вывода на решаемый тип задачи.  $ProblemGoals = \{Goal_i\}$  – совокупность целей или целевых утверждений вывода;  $ProblemFacts = \{Fact_i\}$  – исходные данные для решения задачи (набор истинных утверждений). Множества  $ProblemGoals$  и  $ProblemFacts$  при инициализации вывода отображаются в текущее состояние  $State$ : факты и целевые утверждения отображаются в утверждения о значениях свойств объектов, а цели отображаются в свойства объектов, помеченные как целевые и занесенные в дерево гипотез. Общая схема рабочей памяти в работе [5] представлена, как показано на рисунке Рис.5.



Рис. 5. Структура рабочей памяти

Модель представления текущего состояния задачи подробно описана в работе [5].

Другая особенность заключается в представлении знаний в рабочей памяти. За основу берется модель представления знаний, описанная в задачно-ориентированной методологии, которая представляет из себя продукционную модель, расширенную объектами и специальными структурами для представления НЕ-факторов. Для того чтобы соответствовать потребностям современных инструментальных средств модель

представления знаний дополнительно расширена в сторону объектно-ориентированной парадигмы, а также дополнена метаконструкциями.

Таким образом, в предложенной в работах [4-5] расширенной модели представления знаний предусмотрено следующее:

- - объекты обобщаются до классов, появляются методы классов;
- - добавляются императивные конструкции (циклы и т.п.);
- - добавляются конструкции для представления начальной ситуации (первичная объектная структура в рабочей памяти, включая цели и целевые утверждения);
- - добавляются формализмы представления метазнаний (описания алгоритмов обработки знаний).

Общая модель представления базы знаний в рабочей памяти в работе [5] представлена в виде:  $M_{kb} = \langle \text{Types}, \text{Classes} \rangle$ , где  $\text{Types}$  – множество простых типов данных (подробно описаны в разделе 2.3.2 Представление типов и структур данных);  $\text{Classes}$  – множество классов, описывающих понятия проблемной области, которые удалось выявить на этапе приобретения знаний. Для описания структуры предметной области классы организуются в иерархию, в которой они связаны отношениями агрегирования. Модель представления типов и классов подробно описана в работе [5].

#### **1.4.2. Обобщенная модель и особенности вывода, используемые универсальным АТ-РЕШАТЕЛЕМ**

Необходимость построения интегрированной модели вывода универсального АТ-РЕШАТЕЛЯ, в соответствии с работой [5], заключается в потребности совмещения обработки предусмотренных НЕ-факторов знаний. С одной стороны, обработка таких НЕ-факторов, как неопределенность, неточность и недоопределенность, сводится к обработке соответствующих коэффициентов. С другой стороны, обработка нечеткости требует более сложные методы, подробно описанные в работе [5].

Таким образом, модель вывода универсального АТ-РЕШАТЕЛЯ в работе [5] представлена в виде:  $I'' = \langle A, S'', K, W'', D \rangle$ , где  $A$  – выборка активных правил;  $S''$  – сопоставление, включающее различные преобразования НЕ-факторов, в том числе фаззификацию, при обработке нечеткости;  $K$  – разрешение конфликтов;  $W''$  – выполнение правила с вычислением истинности следствия, учитывая НЕ-факторы;  $D$  – дефаззификация фаззифицированных в ходе вывода значений параметров. Общая схема вывода, описанная в работе [5], показана на рисунке Рис.6. При совмещении схем классического и нечеткого выводов в работе [5] отдельное внимание уделяется следующим аспектам вывода: преобразованиям между знаниями, содержащими различные виды НЕ-факторов; реализации операций сравнения, логических и арифметических операций над разными

видами недостоверных знаний; выбору и совместному применению методов обработки недостоверных знаний.



Рис. 6. Общая схема вывода AT-РЕШАТЕЛЯ

Кратко рассмотрим стратегию ведения уточняющих поддиалогов под управлением алгоритма подтверждения гипотез, описанную в работе [5]. В рассматриваемом методе предлагается использовать последовательное применение трех стратегий:

Опровержение – получение свидетельств, наиболее сильно влияющих на выдвинутые гипотезы с целью отбрасывания наибольшего числа гипотез. Гипотезы также отбрасываются при отсутствии подтверждающих правил.

Дифференциация – получение свидетельств с целью выбора одной гипотезы из оставшихся конкурирующих (противоречивых) гипотез-кандидатов. На данном этапе собираются свидетельства, которых не хватает для определения значений истинности условий релевантных правил. Гипотеза принимается при срабатывании подтверждающего ее правила. Этап завершается, как только все непровергнутые гипотезы будут приняты на основе минимального числа свидетельств.

Верификация – подтверждение выигравшей гипотезы и группы согласующихся с ней гипотез. Данный этап проходит по желанию пользователя с целью увеличить достоверность группы принятых гипотез с помощью механизма объединения свидетельств.

Входными данными для применения этих критериев являются результаты статистического анализа базы знаний (анализ определений типов данных, анализ отсылок и следствий правил). Вся собранная статистика по частоте вхождений отдельных параметров, а также другая полезная информация поступает на вход универсального

решателя вместе с БЗ при его инициализации. В работе [5] отмечается, что возможны ситуации, при которых оказываются истинны несколько гипотез об одном и том же параметре, интересующем конечного пользователя ИЭС. В таком случае образуется так называемая группа согласующихся гипотез, которые могут быть приняты вместе с разными степенями достоверности.

Общий алгоритм метода подтверждения гипотез и ведения уточняющих поддиалогов в работе [5] представлен в виде схемы, изображенной на рисунке Рис.7.

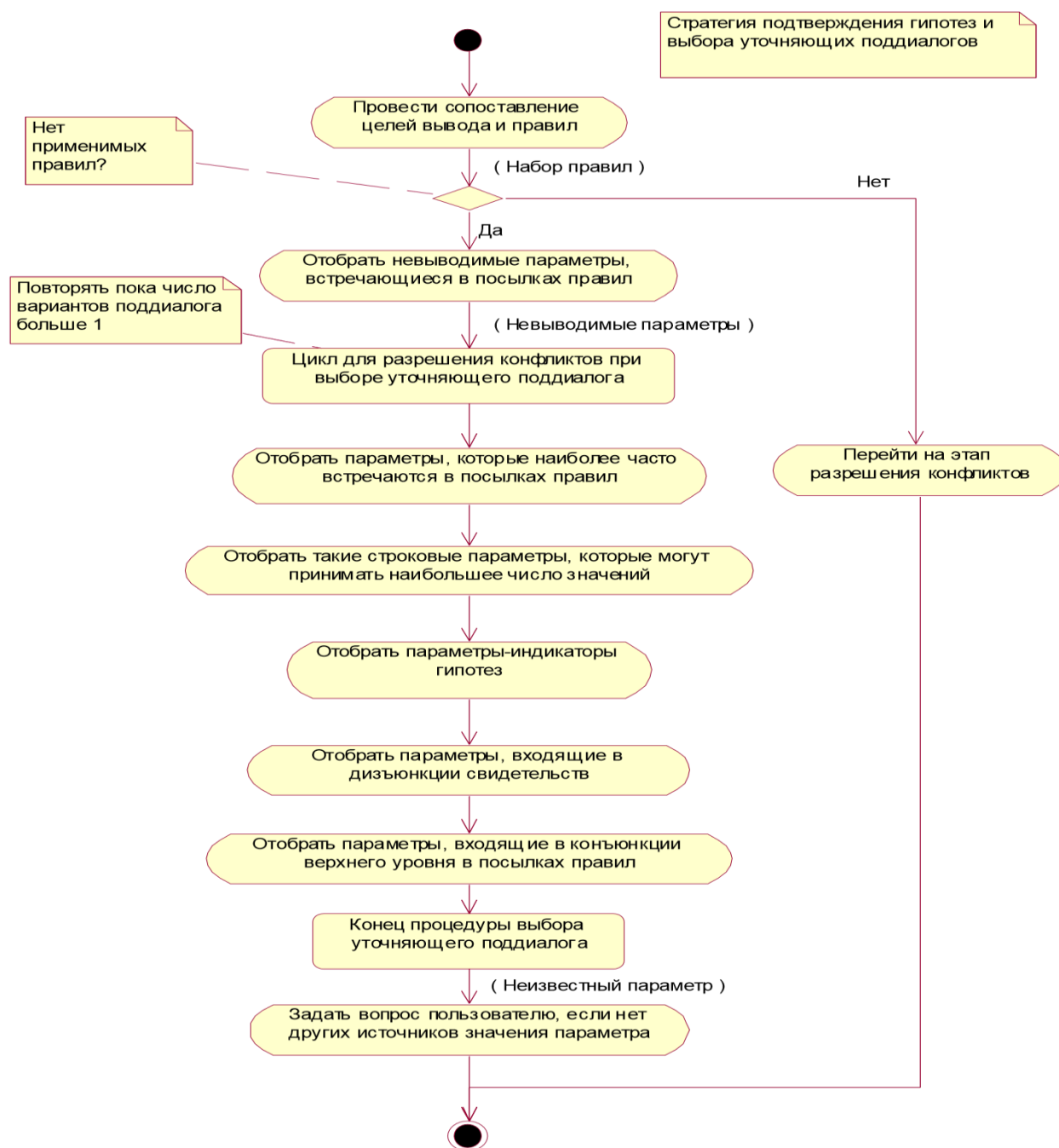


Рис. 7. Стратегия подтверждения гипотез и ведения уточняющих поддиалогов



Использование описанного в работе [5] метода подтверждения гипотез и ведения уточняющих поддиалогов позволяет повысить эффективность поиска решений при изначально небольшом наборе исходных фактов.

### **1.5. Выводы**

В соответствии с полученными результатами исследования моделей и методов задачно-ориентированной методологии, базовых средств текущей версии инструментального комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ и средств построения ИЭС с использованием данного инструментария были сделаны следующие выводы:

1. Выбранная ПрО соответствует критериям применимости технологии построения систем, основанных на знаниях (СОЗ).
2. Базовая версия комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ позволяет разработать демонстрационный прототип для выбранной ПрО.
3. Необходимо провести комплекс исследований универсального АТ-РЕШАТЕЛЯ на предмет необходимости реинжиниринга.

### **1.6. Цели и задачи учебно-исследовательской работы**

Целью учебно-исследовательской работы является разработка средствами комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ демонстрационного прототипа интегрированной экспертной системы для проблемной области «Медицинская ультразвуковая диагностика» и углубленное программное исследование универсального АТ-РЕШАТЕЛЯ.

Для достижения этой цели необходимо решить следующие задачи:

1. Разработка комплекса моделей, предусмотренных задачно-ориентированной методологией.
2. Проектирование архитектуры демонстрационного прототипа ИЭС выбранной ПрО.
3. Построение и тестирование демонстрационного прототипа ИЭС с использованием базовых средств инструментального комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ.
4. Разработка сценария тестирования основных компонентов АТ-РЕШАТЕЛЯ.
5. Разработка предложений по реинжинирингу универсального АТ-РЕШАТЕЛЯ.

## 2. Разработка комплекса моделей, предусмотренных задачно-ориентированной методологией

### 2.1. Построение модели архитектуры прототипа интегрированной экспертной системы (базовые средства АТ-ТЕХНОЛОГИЯ)

Под построением модели архитектуры разрабатываемого прототипа ИЭС подразумевается формирование информационно-логической модели разрабатываемой системы. Данный шаг включает в себя несколько итераций, первой из которых является создание диаграммы верхнего уровня и ее описания. Далее создаются РДПД более низкого уровня детализации, конкретизирующие операции на диаграмме.

Как показано на Рис. 3, контекстная диаграмма – верхний уровень иерархии РДПД - содержит одну Ф-операцию «Поставить диагноз» и идентифицирует внешнюю сущность «Пациент».

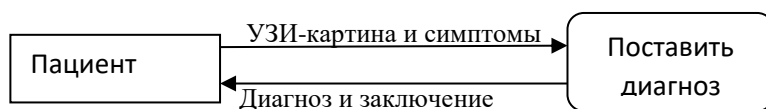


Рис. 8. Верхний уровень иерархии РДПД

Контекстная операция «Поставить диагноз» детализируется диаграммой, представленной на Рис. 4. Детализирующая диаграмма содержит одну Ф-операцию «Формирование отчета», одну НФ-операцию «Диагностика с помощью ЭС» и одну внешнюю сущность «Пациент».

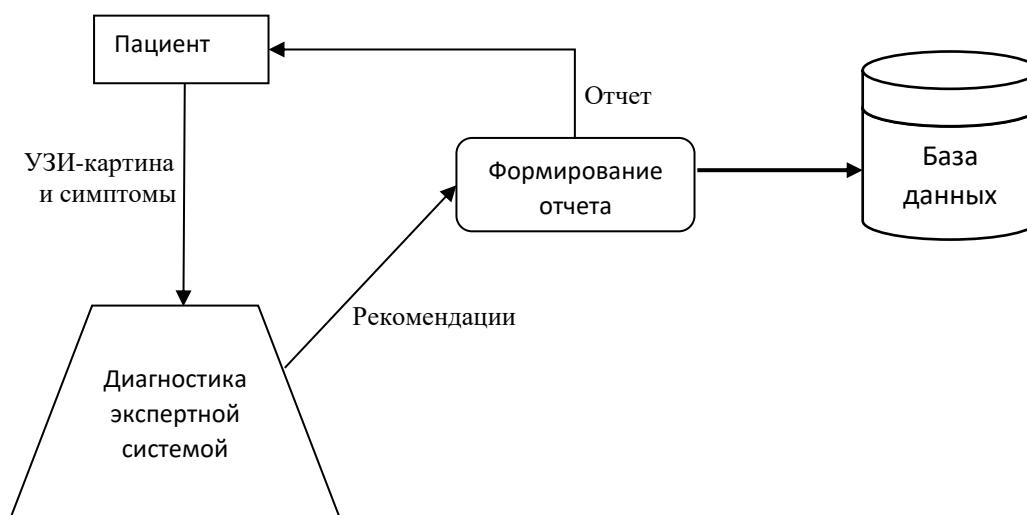


Рис. 9. Детализирующая диаграмма

## 2.2. Спецификация модели задачи диагностики для проблемной области «Медицинская диагностика» (ультразвуковое исследование)

Поскольку задача, описанная в разделе 1.3.3 имеет тип задачи диагностики, опишем ее модель, как спецификацию модели задачи диагностики. В работе [1] общая модель задачи диагностики представлена в виде:  $\langle O, S, D, C, F \rangle$ , где  $O = \langle E, R \rangle$  - модель диагностируемого объекта;  $S$  – множество симптомов,  $D$  – множество диагнозов,  $C$  – множество дифференцирующих условий,  $F$  – совокупность процедур диагностики, отображающие  $S$  в  $D$ .

Опишем компоненты модели для задачи, описанной в разделе 1.3.3. Диагностируемым объектом  $O$  является образование в молочной железе. Множество его признаков-симптомов  $S$  представляет собой следующий набор, изображенный на рисунке Рис. 10. Данная модель подробнее описана в приложении.



Рис. 10 Модель образования в МЖ.

Множество диагнозов  $D$ , присваиваемых образованию в молочной железе, составляет следующий список:

1. Точно доброкачественное
2. Без подозрений на злокачественное
3. Возможно является доброкачественным изменением
4. Является подозрительным изменением
5. Имеет высокий риск злокачественности

Множество дифференцирующих условий  $S$  составляется в основном из наборов значений таких признаков как: эхоструктура, форма, включения, размер.

Совокупность процедур диагностики  $F$  всегда составляют следующие процедуры:

1. Ввод учетной информации
2. Выявление конкретных наборов симптомов
3. Выбор конкретных диагнозов
4. Дифференцирование диагнозов исходя из дифференцирующих условий
5. Проверка истинности выбранных диагнозов
6. Выдача окончательного диагноза

### 2.3. Построение модели и сценария диалога с пользователем (язык ЯОСД)

Модель диалога для разрабатываемого прототипа ИЭС представим в виде схемы, изображенной на рисунке Рис.11.

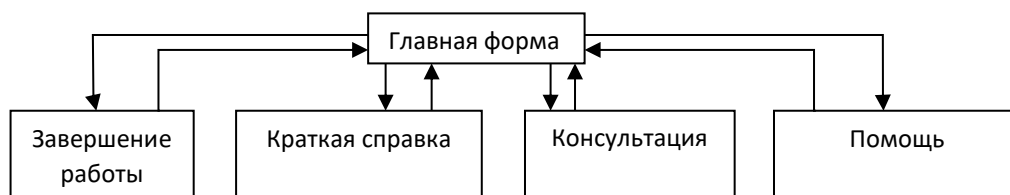


Рис. 11. Модель диалога

Далее опишем сценарий диалога с пользователем на языке ЯОСД в таблице:

Таблица 1. Сценарий диалога с пользователем.

```

/Главный сценарий/
scenario ГлавныйСценарий;
  send СоздатьГлавнуюФорму;
end;

/Дополнительные сценарии/

subscenario ЗапускРешателя;
  send '<message ProcName="TWorkMemoryConfigurator"/>' to ESKernel;
  send '<message ProcName="TSolve"/>' to ESKernel;
end;

subscenario НачатьСеанс;
  
```

```

send 'set Caption to $"Содержание сеанса$"' to Informer;
send concat('output ', text(
    'В этом сеансе опрашивается состояние пациента,',
    'а затем запускается решатель.',
    'Отчет выдается в виде сообщения пользователю.'),
    'as String on Left') to Informer;
send 'activate' to Informer;
/ поехали /
execute ОчисткаФактов;
send Instruct;
execute getGen;
send УзнатьФорму;
send УзнатьКонтур;
execute getIns;
send InstructDopler;
send УзнатьКровоток;
send УзнатьТравмы;
send УзнатьВоспаление;
send УзнатьРазмер;
execute ЗапускРешателя;
execute ВыводДиагноза;
end;

subscenario ОчисткаФактов;
set #ОБЪЕКТ1.АТРИБУТ1# to 'КИСТОЗНАЯ';
set #ОБЪЕКТ1.АТРИБУТ2# to 'АНЭХОГЕННАЯ';
set #ОБЪЕКТ1.АТРИБУТ3# to "";
set #ОБЪЕКТ1.АТРИБУТ4# to "";
set #ОБЪЕКТ1.АТРИБУТ5# to "";
set #ОБЪЕКТ1.АТРИБУТ6# to "";
set #ОБЪЕКТ1.АТРИБУТ7# to "";
set #ОБЪЕКТ1.АТРИБУТ8# to "";
set #ОБЪЕКТ1.АТРИБУТ9# to "";
set #ОБЪЕКТ1.АТРИБУТ10# to "";
set #ОБЪЕКТ1.АТРИБУТ11# to "";
set #ОБЪЕКТ1.АТРИБУТ12# to "";
set #ОБЪЕКТ1.АТРИБУТ13# to "";
set #ОБЪЕКТ1.АТРИБУТ14# to "";
send '<message ProcName=$TKnowledgeBase.ClearWorkMemory$'></message>' to
ESKernel;
end;

subscenario ВыводДиагноза
send 'set Caption to $"Заключение$"' to Informer;
send concat('output ', string(concat('Диагноз: "', #ОБЪЕКТ1.АТРИБУТ12#, '"')),
    'as String on Left') to Informer;
send concat('output ', string(concat('Рекомендация: "', #ОБЪЕКТ1.АТРИБУТ14#, '"')),
    'as String on Left') to Informer;

```

```

    send 'activate' to Informer;
end;

subscenario Выход;
    stop;
end;

subscenario HelpScn;
    send 'activate' to Informer;
end;

subscenario ЗапускРедактораСценария;
    send '<message ProcName="Run"></message>' to DSDLEditor;
end;

subscenario getGen;
    set #cantermgen# to 'да';
    send askcangen;
    when eqv(#cantermgen#, 'нет') goto ГенИзобр;
    when eqv(#cantermgen#, 'да') goto ГенТерм;
    ГенИзобр:
        send УзнатьЦвет;
        goto КонецГен;
    ГенТерм:
        send УзнатьЭхогенность;
        send УзнатьЭхоструктуру;
        goto КонецГен;
    КонецГен:

end;

subscenario getIns;
    set #cantermins# to 'да';
    send askcanins;
    when eqv(#cantermins#, 'нет') goto ВклИзобр;
    when eqv(#cantermins#, 'да') goto ВклТерм;
    ВклИзобр:
        send УзнатьФигуры;
        goto КонецВкл;
    ВклТерм:
        send УзнатьВключения;
        goto КонецВкл;
    КонецВкл:

end;

/Сообщения/

message Instruct to Informer;

```

```

line 'set Caption to '$Выявление ультразвуковых признаков$'';

line concat('output ',
            text('Запустите УЗИ-датчик в В-режиме и наведите на образование'),
            ' as Question');

line 'activate';
end;

message InstructDopler to Informer;
line 'set Caption to '$Выявление ультразвуковых признаков$'';

line concat('output ',
            text('Запустите УЗИ-датчик в доплеровском режиме и наведите на образование'),
            ' as Question');

line 'activate';
end;

message УзнатьЭхоструктуру to Asker about #ОБЪЕКТ1.АТРИБУТ1#;
line 'set Caption to '$Выявление ультразвуковых признаков$'';

line concat('output ',
            text('Укажите эхоструктуру образования в молочной железе'),
            ' as Question');

line concat('input ',
            string(''),
            ' to ',
            name('ОБЪЕКТ1.АТРИБУТ1'),
            ' as IndefVariant from ',
            text('КИСТОЗНАЯ','ПОЧТИ ПОЛНОСТЬЮ КИСТОЗНАЯ','ГУБЧАТАЯ','СМЕШАННАЯ
СОЛИДНО-КИСТОЗНАЯ','СОЛИДНАЯ','ПОЧТИ ПОЛНОСТЬЮ СОЛИДНАЯ'));

line 'activate';
end;

message УзнатьЭхогенность to Asker about #ОБЪЕКТ1.АТРИБУТ2#;
line 'set Caption to '$Выявление ультразвуковых признаков$'';

line concat('output ',
            text('Укажите эхогенность образования в молочной железе'),
            ' as Question');

line concat('input '$$',
            ' to ',
            name('ОБЪЕКТ1.АТРИБУТ2'),

```

```

' as IndefVariant from
['АНЭХОГЕННАЯ$','ГИПЕРЭХОГЕННАЯ$','ИЗОЭХОГЕННАЯ$','ГИПОЭХОГЕННАЯ$','ВЫР
АЖЕННО ГИПОЭХОГЕННАЯ$']);

line 'activate';
end;

message askcangen to Asker;
line concat('output ',
            text('Вы можете указать экоструктуру и экзогенность образования в молочной
железе?'),
            ' as Question');
line 'input $'Mory$' to #cantermgen# as Checked from '$да$' or '$нет$';
line 'activate';
end;

message askcanins to Asker;
line concat('output ',
            text('Вы можете указать включения веществ в образовании в молочной железе?'),
            ' as Question');
line 'input $'Mory$' to #cantermins# as Checked from '$да$' or '$нет$';
line 'activate';
end;

message СоздатьГлавнуюФорму to Alternativer;
line 'on $'Файл/Выход$' execute Выход';
line 'on $'Консультация/Начать сеанс$' execute НачатьСеанс';
line 'on $'About/Help$' execute HelpScn';
line 'on $'Инструменты/Специализированный редактор сценариев диалога...$' execute
ЗапускРедактораСценария';
line 'set PictureFile to $'example.bmp$';
line 'activate';
end;

message УзнатьЦвет to Asker about #ОБЪЕКТ1.АТРИБУТ15#;
line 'set Caption to $'Выявление ультразвуковых признаков$';

line concat('output ',
            text('Укажите общий цвет образования (не рассматривая светлые пятна и
фигуры)'),
            ' as Question');

line concat('input $'$',
            ' to ',
            name('ОБЪЕКТ1.АТРИБУТ15'),
            ' as IndefVariant from ['$Полностью черный$','$Черный с серыми
пятнами$','$Темно-серый$','$Светло-серый$','$Полностью светлый$']');

line 'activate';

```



```

end;

message УзнатьФорму to Asker about #ОБЪЕКТ1.АТРИБУТ3#;
line 'set Caption to $'Выявление ультразвуковых признаков$";

line concat('output ',
            text('Укажите форму образования в молочной железе'),
            ' as Question');

line concat('input ',
            string(""),
            ' to ',
            name('ОБЪЕКТ1.АТРИБУТ3'),
            ' as IndefVariant from ',
            text('ШИРЕ-ЧЕМ-ВЫШЕ','ВЫШЕ-ЧЕМ-ШИРЕ'));

line 'activate';
end;

message УзнатьКонтур to Asker about #ОБЪЕКТ1.АТРИБУТ4#;
line 'set Caption to $'Выявление ультразвуковых признаков$";

line concat('output ',
            text('Укажите контур образования в молочной железе'),
            ' as Question');

line concat('input ',
            string(""),
            ' to ',
            name('ОБЪЕКТ1.АТРИБУТ4'),
            ' as IndefVariant from ',
            text('РОВНЫЙ','НЕ ОПРЕДЕЛЯЕТСЯ','НЕРОВНЫЙ','ИМЕЕТ
ЭКСТРАТИРЕОИДНОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ','ДОЛЬЧАТЫЙ'));

line 'activate';
end;

message УзнатьВключения to Asker about #ОБЪЕКТ1.АТРИБУТ5#;
line 'set Caption to $'Выявление ультразвуковых признаков$";

line concat('output ',
            text('Укажите включения внутри образования в молочной железе'),
            ' as Question');

line concat('input ',
            string(""),
            ' to ',
            name('ОБЪЕКТ1.АТРИБУТ5'),
            ' as IndefVariant from ',

```

```

        text('ОТСУТСТВУЮТ','БОЛЬШИЕ      АРТЕФАКТЫ      ТИПА      <<ХВОСТ
КОМЕТЫ>>','МАКРОКАЛЬЦИНАТЫ','ПЕРИФЕРИЙНОЕ
ОБЫЗВЕЩЕНИЕ','МИКРОКАЛЬЦИНАТЫ'));

    line 'activate';
end;

message УзнатьФигуры to Asker about #ОБЪЕКТ1.АТРИБУТ16#;
    line 'set Caption to $'Выявление ультразвуковых признаков$";

    line concat('output ',
        text('Укажите фигуры внутри образования в молочной железе'),
        ' as Question');

    line concat('input ',
        string(''),
        ' to ',
        name('ОБЪЕКТ1.АТРИБУТ16'),
        ' as IndefVariant from ',
        text('Без резких переходов','Продолговатые фигуры со светлым
контуром','Большие светлые точки','Малые светлые точки сплошным слоем','Отдельные
малые светлые точки'));
    line 'activate';
end;

message УзнатьКровоток to Asker about #ОБЪЕКТ1.АТРИБУТ6#;
    line 'set Caption to $'Выявление ультразвуковых признаков$";

    line concat('output ',
        text('Укажите кровоток внутри образования в молочной железе'),
        ' as Question');

    line concat('input ',
        string(''),
        ' to ',
        name('ОБЪЕКТ1.АТРИБУТ6'),
        ' as IndefVariant from ',
        text('ПОНИЖЕННЫЙ','НОРМАЛЬНЫЙ','ПОВЫШЕННЫЙ'));

    line 'activate';
end;

message УзнатьТравмы to Asker about #ОБЪЕКТ1.АТРИБУТ7#;
    line 'set Caption to $'Выявление ультразвуковых признаков$";

    line concat('output ',
        text('Есть ли на месте образования травмы?'),
        ' as Question');

```

```

line concat('input ',
            string(''),
            ' to ',
            name('ОБЪЕКТ1.АТРИБУТ7'),
            ' as IndefVariant from ',
            text('да','нет'));

line 'activate';
end;

message УзнатьВоспаление to Asker about #ОБЪЕКТ1.АТРИБУТ8#;
line 'set Caption to $Выявление ультразвуковых признаков$';

line concat('output ',
            text('Есть ли на месте образования воспаление?'),
            ' as Question');

line concat('input ',
            string(''),
            ' to ',
            name('ОБЪЕКТ1.АТРИБУТ8'),
            ' as IndefVariant from ',
            text('да','нет'));

line 'activate';
end;

message УзнатьРазмер to Asker about #ОБЪЕКТ1.АТРИБУТ13#;
line 'set Caption to $Выявление ультразвуковых признаков$';

line concat('output ',
            text('Укажите размер образования в молочной железе'),
            ' as Question');

line concat('input ',
            string(''),
            ' to ',
            name('ОБЪЕКТ1.АТРИБУТ13'),
            ' as IndefVariant from ',
            text('Малый','Небольшой','Средний','Укрупненный','Большой'));

line 'activate';
end;

```

### 3. Проектирование и программная реализация прототипа интегрированной экспертной системы

#### 3.1. Разработка архитектуры, состава и структуры демонстрационного прототипа интегрированной экспертной системы

Общая архитектура прототипа ИЭС, разработанной с помощью базовой версии инструментального комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ представлена на Рис. 12.

Как показано на Рис. 12. разрабатываемый прототип включает в себя следующие компоненты: ядро ИЭС (решатель, база знаний и рабочая память), интегрированную базу данных, диалоговый компонент, подсистему выдачи рекомендаций.

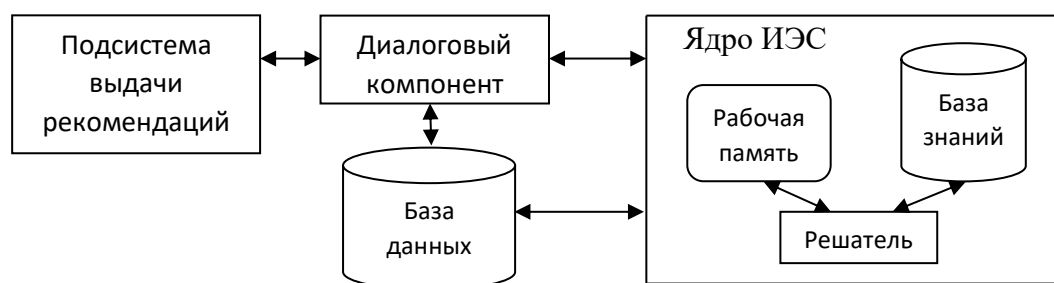


Рис. 12. Общая архитектура прототипа ИЭС

##### 3.1.1. Этап анализа системных требований

На данном этапе происходит формирование требований к системе, построение модели архитектуры разрабатываемого прототипа и приобретение знаний. Модель архитектуры прототипа представлена в разделе 2.1, поэтому основное внимание уделим процессу приобретения знаний.

Данный шаг производился с помощью разработанного в рамках КМПЗ базового метода прямого извлечения знаний из эксперта. Базовым подходом к задаче автоматизированного извлечения знаний из эксперта в рамках КМПЗ является подход «Имитация консультации». Данный метод подробно описан в материалах работ [1-4].

Таким образом, для выполнения данного шага и последующего формирования и верификации поля знаний, был разработан модельный диалог с экспертом. Фрагмент модельного диалога представлен в таблице Таблица 2.

Таблица 2. Диалог с экспертом.

<p><b>Вопрос:</b> Перечислите предварительные жалобы пациента и уровень кровотока</p> <p><b>Ответ:</b> У пациентки на месте образования есть травмы.</p>
<p>Можете ли вы сделать заключение о состоянии пациента?</p> <p>Нет.</p>
<p><b>Вопрос:</b> Перечислите ультразвуковые признаки об исследуемом образовании в молочной железе.</p> <p><b>Ответ:</b> Эхоструктура образования КИСТОЗНАЯ и экзогенность образования АНЭХОГЕННАЯ.</p>
<p>Можете ли вы сделать заключение о состоянии пациента?</p> <p>Нет.</p>
<p><b>Вопрос:</b> Перечислите параметры и включения исследуемого образования в молочной железе</p> <p><b>Ответ:</b> ШИРИНА образования больше чем ДЛИНА, контур образования НЕВОЗМОЖНО ОПРЕДЕЛИТЬ и в образовании включений НЕТ.</p>
<p>Можете ли вы сделать заключение о состоянии пациента?</p> <p>Да.</p> <p><i>Ввод учетной информации объекта исследования. Выделение дифференцирующих признаков</i></p> <p><b>Заключение:</b> Образование точно доброкачественное.</p>
<p>Можете ли вы сделать ещё одно заключение?</p> <p>Нет</p>
<p>Можете ли вы дать ещё один вариант ответа на вопрос: Перечислите параметры и включения исследуемого образования в молочной железе.</p> <p>Да</p>
<p><b>Вопрос:</b> Сформулируйте возможный вариант ответа пациента на данный вопрос</p> <p><b>Ответ:</b> ШИРИНА образования больше чем ДЛИНА, контур образования НЕВОЗМОЖНО ОПРЕДЕЛИТЬ и в образовании имеются МАКРОКАЛЬЦИНАТЫ.</p>
<p>Можете ли вы сделать заключение о состоянии пациента?</p> <p>Да.</p> <p><i>Ввод учетной информации объекта исследования. Выделение дифференцирующих признаков</i></p> <p><b>Заключение:</b> Образование без подозрений на злокачественное.</p>
<p>Можете ли вы сделать ещё одно заключение?</p> <p>Нет</p>

<p>Можете ли вы дать ещё один вариант ответа на вопрос: Перечислите параметры и включения исследуемого образования в молочной железе.</p> <p>Да</p>
<p><b>Вопрос:</b> Сформулируйте возможный вариант ответа пациента на данный вопрос</p> <p><b>Ответ:</b> ДЛИНА образования больше чем ШИРИНА и контур образования ИМЕЕТ ВИД ЭКСТРАТИРЕОДНОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ и в образовании имеются МАКРОКАЛЬЦИНАТЫ.</p>
<p>Можете ли вы сделать заключение о состоянии пациента?</p> <p>Да.</p> <p><i>Ввод учетной информации объекта исследования. Выделение дифференцирующих признаков</i></p> <p><b>Заключение:</b> Образование вероятно является доброкачественным изменением.</p>
<p>Можете ли вы сделать ещё одно заключение?</p> <p>Нет</p>

Полная версия диалога с экспертом представлена в приложении

После формирования поля знаний, была пройдена ее верификация на наличие следующих критериев: значения атрибутов, на которые нет ссылок; недопустимые значения атрибутов; недостижимые заключения; замкнутые правила; лишние if-условия; избыточные правила; конфликтные правила; пересекающиеся правила; избыточные цепочки правил; конфликтные цепочки правил; замкнутые цепочки правил; пересекающиеся цепочки правил.

### 3.1.2. Этап детального проектирования

На этапе общего проектирования строится конфигурация текущего прототипа ИЭС, на основе созданной на этапе АСТП модели архитектуры.

Таким образом, для прототипа ИЭС из репозитория на основе общей схемы архитектуры прототипа были выбраны следующие компоненты:

- ядро экспертной системы (ESKernel);
- диалоговый компонент (Dialoger);
- подсистема доступа к БД (Scripter);
- редактор сценариев диалога с пользователем (DSDLEditor)

Одной из важнейших подсистем ИЭС является подсистема общения (или диалоговый компонент). Средством вывода в нашем случае был выбран «АТ-Решатель».

### 3.1.3. Этап реализации

На данном этапе был создан пользовательский интерфейс для обеспечения возможности получения УЗИ-картины и симптомов от пациента. Пользовательский интерфейс описывается сценариями функционирования внешних компонентов прототипа. Сценарий был создан в специализированном редакторе (Рис.13).

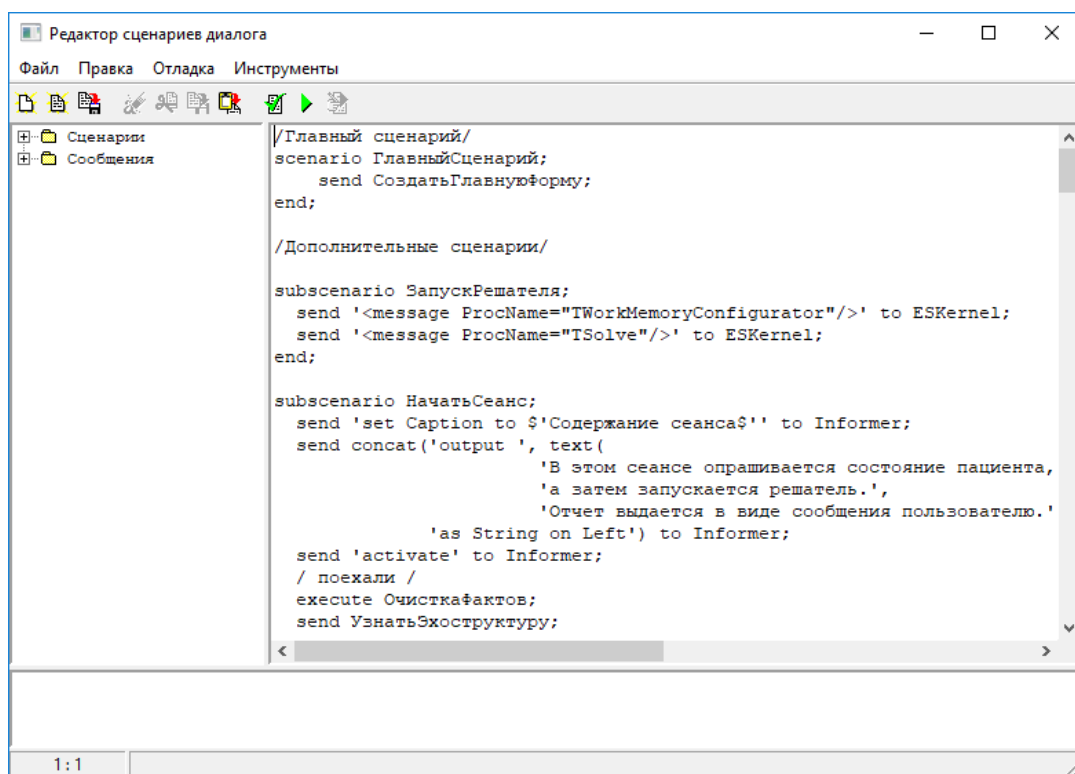


Рис. 13. Редактор сценариев диалога.

### 3.1.4. Этап тестирования

На данном этапе жизненного цикла было проведено полноценное тестирование в режиме «Консультация» в среде инструментального комплекса АТ ТЕХНОЛОГИЯ и создан отчужденный прототип.

## 3.2. Особенности программной реализации и тестирование компонентов прототипа интегрированной экспертной системы

Для полноценной реализации демонстрационного прототипа ИЭС, необходимо провести ее интеграцию, например, с БД. Однако при попытке интеграции возникают программные ошибки, препятствующие реализации данной задачи.

### 3.3. Разработка тест-примеров функционирования прототипа интегрированной экспертной системы для проблемной области «Медицинская ультразвуковая диагностика»

После успешного запуска прототипа на экране отобразится основное окно (Рис.14.)

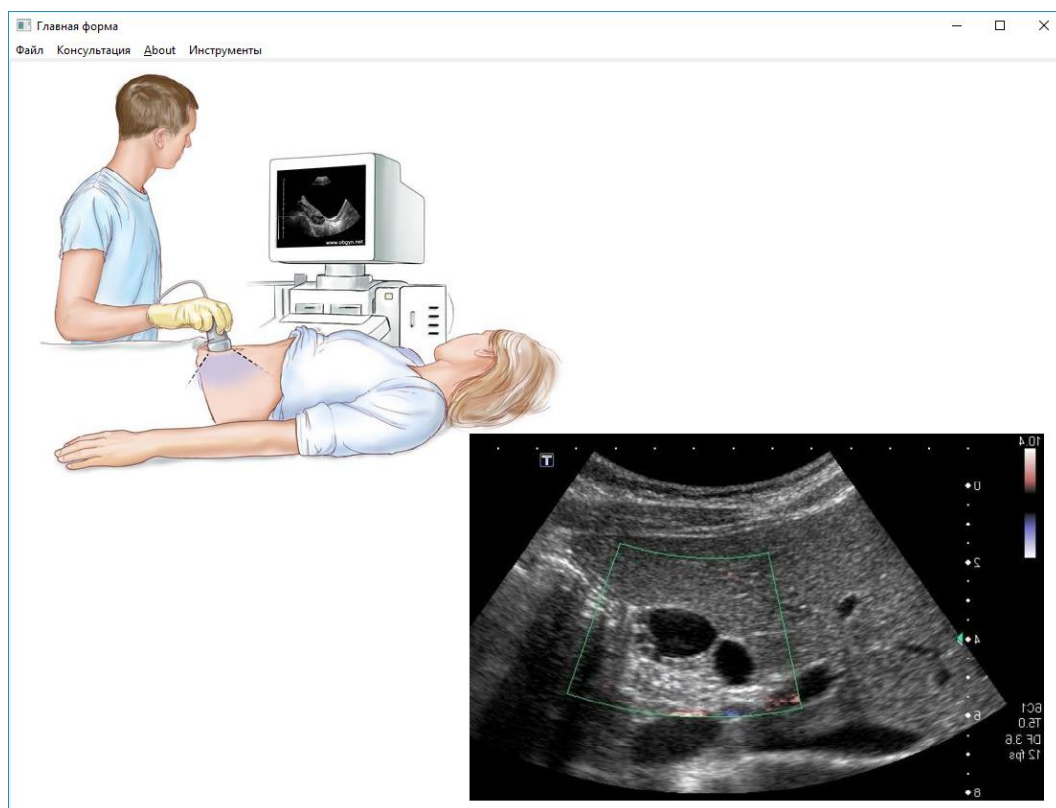


Рис. 14. Основное окно.

Пользователь может начать работу по диагностике образования в молочной железе. На главной форме прототипа пользователю доступны следующие пункты меню системы: «Файл», «Консультация», «About», «Инструменты». Пользователь может пройти сеанс консультации по диагностике образования в МЖ. В процессе консультации выводятся диалоговые формы, представленные на Рис. 15. Результаты консультации отображаются по окончании сеанса.

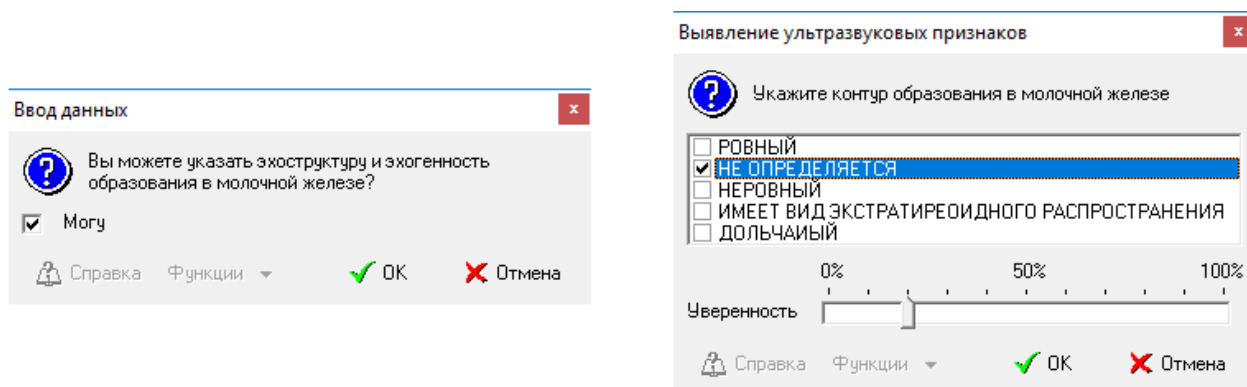
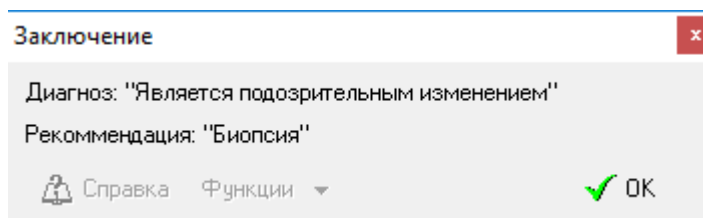


Рис. 15. Диалоговые формы



После того, как пользователь укажет все симптомы и признаки образования в МЖ, система выдаст результат диагностики, включающий диагноз и рекомендацию по дальнейшим не УЗИ обследованиям образования в МЖ. Пример результата диагностики представлен на рисунке Рис. 16.



*Рис. 16. Диалоговая форма результата.*

### **3.4. Разработка сценария тестирования основных компонентов АТ-РЕШАТЕЛЯ**

Тестирование компонента АТ-РЕШАТЕЛЬ требует разбиение на два этапа: тестирование инициализации и тестирования вывода.

Тестирование инициализации сперва необходимо провести методом «черного ящика». Входными данными следует выбрать различные БЗ, представленные на ЯПЗ, в том числе БЗ разработанного по ходу выполнения УИР прототипа. Выходными данными являются преобразованные БЗ в формате XML. Необходимо проверить корректность преобразования, составить список ошибок.

Далее тестирование подразумевает два случая: инициализация требует или не требует исправлений.

Рассмотрим первый случай. В данной ситуации необходимо протестировать инициализацию АТ-РЕШАТЕЛЯ методом «серого ящика». Входные и выходные данные будут отличаться только тем, что особо детально будут рассмотрены ошибочные случаи, а также добавлены входные данные, определяющиеся ключевыми элементами проектирования компонента АТ-РЕШАТЕЛЬ. После проведения тестирования, необходимо исправить найденные ошибки в программном коде и перейти к тестированию вывода.

Во втором случае следует перейти сразу к тестированию вывода.

Тестирование вывода также следует начинать методом черного ящика, подразумевая тестирование на конкретной БЗ. Входными данными будут являться различные наборы

изначальных фактов, задающиеся пользователем, а также наборы факторов уверенности и точности, соответствующие начальным фактам. Выходными данными будут служить факты, полученные по окончании вывода, и точно также соответствующие наборы уверенности и точности, соответствующие выходным фактам. Также стоит воспользоваться встроенным отладчиком вывода и рассмотреть дополнительно как выходные данные промежуточные факты, полученные в процессе вывода и набор НЕ-факторов, соответствующий им.

По завершении тестирования вывода методом «черного ящика», при наличии ошибочных случаев также следует перейти к тестированию методом «серого ящика» на тех же входных данных, дополненных различными случаями, определенными различными сведениями об особенностях методов вывода и обработки знаний. Если же ошибок не обнаружится, то тестирование можно считать окончанным.

Таким образом, схема сценария тестирования АТ-РЕШАТЕЛЯ представлена на рисунке Рис. 17.

Кратко рассмотрим особенности тестирования каждого из этапов.

Тестирование инициализации зависит от сложности и корректности составленных БЗ, поэтому при их разработке следует уделить особое внимание их верификации, а также проверке соответствия формата результирующих файлов БЗ описанию ЯПЗ. Данное описание представлено в работе [1]. При обнаружении ошибок построения БЗ, которые могут проявиться при верификации, верификатор выдаст соответствующие указания по их исправлению. При обнаружении несоответствия формата результирующего файла БЗ описанию ЯПЗ следует внести исправление вручную. Отметим, что при наличии более сложных БЗ тестирование будет наиболее полноценным.

Во время тестирования вывода особое внимание следует уделить обработке различных наборов НЕ-факторов знаний. От корректности обработки уверенности, неопределенности, неточности или нечеткости зависит степень соответствия выходных данных ожидаемому результату. Наиболее сложными методами обрабатывается нечеткость. Проверку корректности обработки данного НЕ-фактора необходимо проводить, руководствуясь детальными описаниями методов обработки, представленные в материалах работ [1,5]. Обработка других представленных НЕ-факторов сводится к достаточно простой математической обработке числовых коэффициентов. Кроме того, правильность обработки НЕ-факторов знаний зависит от корректности их ввода.

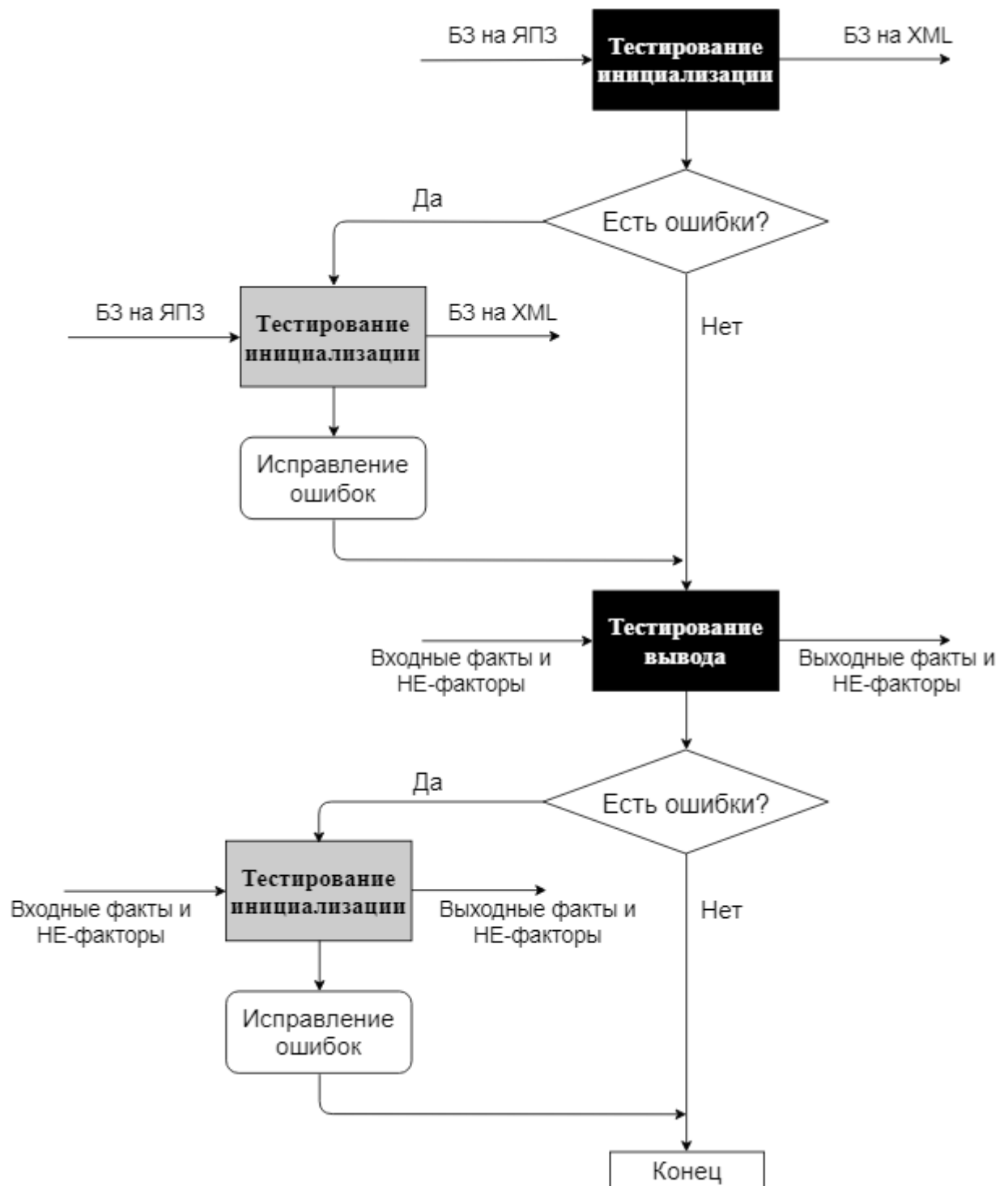


Рис. 17. Сценарий тестирования AT-РЕШАТЕЛЯ.

Отметим, что тестирование вывода на сложных БЗ - достаточно трудоемкий процесс, поэтому следует так же рассмотреть вариант тестирования на более простых БЗ или разбиения сложных БЗ на простые.

### 3.5. Программное исследование универсального АТ-РЕШАТЕЛЯ и разработка предложений по дальнейшему развитию и реинжинирингу АТ-РЕШАТЕЛЯ на новой платформе

#### 3.5.1. Общая архитектура универсального АТ-РЕШАТЕЛЯ и его компонентов

Архитектура универсального АТ-РЕШАТЕЛЯ, описанная в работе [5], изображена в виде схемы, представленной на рисунке Рис. 17.

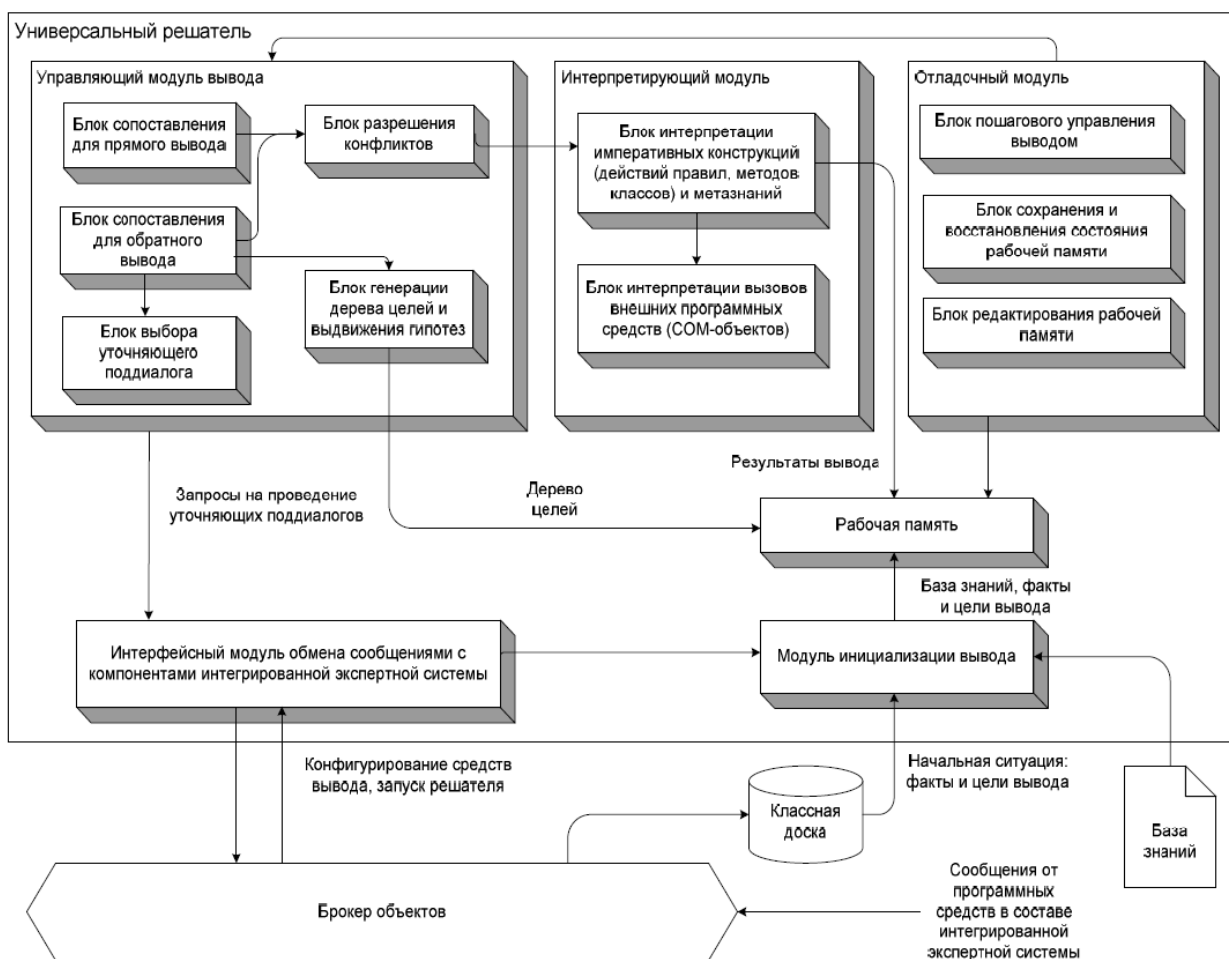


Рис.18. Архитектура АТ-РЕШАТЕЛЯ.

Из архитектуры, можно сделать вывод, что универсальный решатель состоит из следующих модулей: управляющий модуль, интерпретирующий модуль, отладочный модуль, интерфейсный модуль, инициализирующий модуль, рабочая память.

Рассмотрим кратко назначения этих модулей:

Управляющий модуль отвечает за применение основных механизмов вывода (сопоставления, разрешения конфликтов, генерации целей, выбора уточняющих поддиалогов).

Интерпретирующий модуль отвечает за исполнение действий правил и процедур, а также обеспечивает вызов функций внешних программных средств, оформленных в виде СОМ-объектов.

Рабочая память представляет собой иерархию объектов для представления данных, требуемых средствам вывода в ходе сеанса консультации с ИЭС, включая ряд служебных контейнеров для работы управляющего модуля.

Модуль инициализации вывода отвечает за загрузку базы знаний из универсального XML-представления во внутреннее представление в рабочей памяти, а также за загрузку начальной ситуации для вывода с классной доски.

Отладочный модуль входит в состав универсального решателя как инструмент разработчика и реализует ряд служебных механизмов: пошаговое управление выводом, редактирование рабочей памяти, сохранение и восстановление состояния вывода на любом шаге.

Интерфейсный модуль обмена сообщениями отвечает за взаимодействие средств вывода с другими программными средствами в составе прототипа ИЭС, а также с инструментальными средствами комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ.

На рисунке также показаны служебные компоненты, входящие в состав ИЭС: брокер объектов и классная доска.

Брокер объектов является служебным компонентом, осуществляющим передачу управления между программными средствами в составе ИЭС методом передачи сообщений.

Классная доска также является служебным компонентом и представляет собой хранилище общих данных со средствами доступа к ним.

Через интерфейсный модуль осуществляется передача данных и управления между программными средствами ИЭС. Его реализации в разных программных средствах, разработанных в соответствии с требованиями инструментального комплекса АТТЕХНОЛОГИЯ, во многом схожи и отличаются только набором обрабатываемых и отсылаемых сообщений. Для универсального решателя основными управляющими сообщениями являются сообщения диалоговому компоненту, инициирующие уточняющие поддиалоги, а характерными данными являются начальная ситуация и трасса вывода. Посредством интерфейсного модуля универсальный решатель взаимодействует также с подсистемой объяснения.

Универсальный решатель разработан в среде Borland Delphi на языке Object Pascal с использованием COM-технологии Microsoft. Универсальный решатель оформлен как сервер автоматизации (Automation server), помещенный в динамическую библиотеку, а интерфейсный модуль фактически является COM-оболочкой для других модулей в составе универсального решателя.

### **3.5.2. Программные ошибки в реализации текущей версии универсального АТ-РЕШАТЕЛЯ и предложения по реинжинирингу**

#### **1. Общие замечания и предложения**

Для полноценного тестирования универсального АТ-РЕШАТЕЛЯ необходима возможность создания прототипов ИЭС, имеющих БЗ с полным перечнем типов. Текущая версия компонента РЕДАКТОР ПОЛЯ ЗНАНИЙ базовой версии комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ не поддерживает генерацию ЯПЗ, если в базе знаний присутствуют объявления:

1. Нечетких типов
2. Объектов с атрибутами нечеткого типа
3. Правил, содержащих объекты с атрибутами нечеткого и **числового** типа

Также текущая версия компонента РЕДАКТОР ПОЛЯ ЗНАНИЙ не поддерживает функции, необходимые для полноценного процесса редактирования БЗ:

1. Редактирование словаря ЛП
2. Слияние фрагментов БЗ на ЯПЗ

Отсутствие возможности слияния фрагментов БЗ на ЯПЗ делает невозможным создание БЗ автоматизированным путем. Для полноценного описания БЗ приходится заполнять ЯПЗ вручную.

#### **1.1. Выводы и предложения**

- 1) Текущая версия компонента РЕДАКТОР ПОЛЯ ЗНАНИЙ инструментального комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ (базовая версия) не располагает возможностями для комплексного проектирования и построения БЗ, необходимых для тестирования компонента АТ-РЕШАТЕЛЬ.
- 2) Необходим реинжиниринг компонента РЕДАКТОР ПОЛЯ ЗНАНИЙ с целью реализации корректной обработки и комплексного редактирования нечетких и

числовых типов, ориентируясь на методы, представленные в работах [1-5], а также словаря ЛП и возможности слияния фрагментов БЗ на ЯПЗ.

## 2. Конвертация нечеткости при инициализации БЗ из ЯПЗ

При инициализации БЗ универсального решателя происходит конвертация ЯПЗ в XML-представление базы знаний. Данная процедура выполняется ПИК компонентом, реализованным в динамической библиотеке «ReadKB.dll». В данной библиотеке отсутствуют методы конвертации функций принадлежности нечетких типов и лексических переменных.

### 2.1. Выводы и предложения

- 1) Текущая версия компонента ReadKB инструментального комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ (базовая версия) не располагает возможностями для конвертации БЗ, необходимых для тестирования компонента АТ-РЕШАТЕЛЬ.
- 2) Необходим реинжиниринг компонента ReadKB с целью реализации корректной обработки и комплексного редактирования нечетких типов, ориентируясь на методы, представленные в работах [1-5], а также словаря ЛП.

Для решения данной проблемы была реализована библиотека AT\_KRL\_Editor.js.

Данная библиотека включает в себя следующие модули:

- JSUtils.js – данный модуль предназначен для поддержки кросс-платформенного функционирования библиотеки, в том числе для интеграции в программный код библиотек инструментального комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ и универсального АТ-РЕШАТЕЛЯ с помощью ActiveX компонента MS ScriptControl (msscript.ocx).
- XMLUtils.js – данный модуль содержит класс для работы с форматом XML также с поддержкой кросс-платформенности.
- AT\_KRL\_Editor.js – данный модуль содержит класс верхнего уровня AT\_KRL\_Editor, предназначенный для хранения данных о загруженной БЗ на ЯПЗ и методов ее конвертации.
- AT\_KRL\_Type.js – в данном модуле описан класс для хранения типов, загруженных из ЯПЗ. Класс может хранить числовой, символьный и нечеткий типы. Кроме того, класс предоставляет методы по конвертации типов в XML.

- AT\_KRL\_Object.js – данный модуль содержит класс для хранения загруженных из ЯПЗ объектов и методов конвертации в XML.
- AT\_KRL\_Expressions.js – в данном модуле реализованы классы, предназначенные для описания выражений, которые в последствии могут сравниваться или присваиваться атрибутам. Из выражений в последствие могут быть составлены сложные математические выражения.
- AT\_KRL\_Fact.js – данный модуль содержит класс, который предназначен для хранения и обработки фактов и действий для правил. Из фактов в последствии могут быть составлены логические выражения. Действия описывают результат срабатывания правил.
- AT\_KRL\_Rule.js – в данном модуле описаны классы для хранения и обработки логических выражений и правил, а также содержащие методы конвертации правил в XML.
- AT\_KRL\_Parser.js – данный модуль содержит класс для обработки собственно ЯПЗ и конвертации его в экземпляры классов, описанных выше, с последующей возможностью конвертации их в XML.

Для интеграции данной библиотеки в программный код универсального АТ-РЕШАТЕЛЯ был разработан модуль TKBConvertor.pas. Интеграция производится с помощью ActiveX компонента MS ScriptControl (msscript.ocx). Программная реализация библиотеки содержит 9 модулей, примерно 1800 строк кода, 14 классов.

Разработанная библиотека позволяет корректно конвертировать БЗ, описанную на ЯПЗ, в формат XML. Кроме того, библиотека предоставляет широкие возможности для развития направления разработок на WEB-платформе.

### 3. Обработка нечеткости при инициализации рабочей памяти

При инициализации РП универсального АТ-РЕШАТЕЛЯ производится загрузка БЗ из XML в объекты Pascal. Данная операция производится компонентом UDebugForm.pas, использующим библиотеку IE\_Debugger.pas, которая в свою очередь, использует библиотеку XML\_Routines.pas.

В данной библиотеке реализован класс TXMLLoader, предназначенный для загрузки БЗ из XML-файлов в объекты Pascal. В методах данного класса, таких как: TXMLLoader.LoadTypes, XMLLoader.LoadClasses и TXMLLoader.LoadRules – обнаружены ошибки по загрузке нечетких типов и их обработке.



### 3.1. Выводы и предложения

- 1) Текущая версия библиотеки TXMLLoader не поддерживает загрузку и обработку нечетких типов.
- 2) Необходим реинжиниринг компонента TXMLLoader с целью реализации корректной обработки и загрузки нечетких типов в БЗ, ориентируясь на методы, представленные в работах [1-5].

Для решения данной проблемы в метод TXMLLoader.LoadTypes добавлена ветвь загрузки нечеткого типа в БЗ из XML.

Таким образом, была исправлена некорректность инициализации АТ-РЕШАТЕЛЯ. Дальнейшие исследования и разработки необходимо проводить в направлении поиска и устранения ошибок в процессе вывода.

### 4. Предложения по улучшению реализации

Универсальный АТ-РЕШАТЕЛЬ реализован как библиотека динамической компоновки, позволяющая многократное использование различными программными приложениями с использованием концепции Component Object Module (COM).

Текущая версия компонента АТ-РЕШАТЕЛЬ реализована в среде Delphi.

Предварительно можно выделить несколько проблем, которые могут возникнуть на различных этапах функционирования компонента АТ-РЕШАТЕЛЬ:

1. Неудобство отладки, поскольку в Delphi затруднена возможность пошаговой отладки сразу нескольких dll-библиотек, а в реализации АТ-РЕШАТЕЛЯ они используются вложено.
2. Возможно потребуется дополнительный реинжиниринг библиотек других компонентов, использующихся при реализации библиотеки АТ-РЕШАТЕЛЯ.
3. Неудобство межплатформенного использования, поскольку использование dll-библиотек не так широко распространено в других операционных системах, как в Windows, или требуется установка дополнительного программного обеспечения.

#### 4.1. Выводы и предложения

1. Необходимо продумать схему отладки компонента АТ-РЕШАТЕЛЬ и компонентов, использовавшихся в нем.
2. Рассмотреть варианты улучшения компонента АТ-РЕШАТЕЛЬ в направлении увеличения удобства использования и отладки.

## **4. Заключение**

В рамках данной учебно-исследовательской работы было произведено исследование отдельных компонентов комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ, построен и протестирован демонстрационный прототип интегрированной экспертной системы по проблемной области «Медицинская ультразвуковая диагностика» в направлении диагностики рака молочной железы, проведено программное исследование и разработаны предложения по реинжинирингу универсального АТ-РЕШАТЕЛЯ.

## 5. Список литературы

1.	Рыбина Г.В. Теория и технология построения интегрированных экспертных систем. Монография. М.: "Научтехлитиздат", 2008. – 482 с.
2.	Рыбина Г.В. Интеллектуальные системы: от А до Я: Серия монографий в трех книгах. Кн. 2: Интеллектуальные диалоговые системы. Динамические интеллектуальные системы. – М.: "Научтехлитиздат", 2015. – 163 с.
3.	Рыбина Г.В. Интеллектуальные системы: от А до Я: Серия монографий в трех книгах. Кн. 3: Проблемно-специализированные интеллектуальные системы. Инструментальные средства построения интеллектуальных систем. – М.: "Научтехлитиздат", 2015. – 180 с.
4.	Рыбина Г.В., Демидов Д. В. Методы построения средств вывода для интегрированных экспертных систем // Научная сессия МИФИ-2006. Сборник научных трудов. Т. 3. – М.: МИФИ, 2006. С. 48-52.
5.	Рыбина Г.В., Демидов Д.В. Модели, методы и программные средства вывода в интегрированных экспертных системах // Инженерная физика. №2, 2007. с.51-60.
6.	Dominique A. Lobar Approach to Breast Ultrasound. – М.: Springer International Publishing AG. Part of Springer Nature 2018. – 346 с.
7.	Mitchell C., Blauwet L. A. Guidelines for Performing a Comprehensive Transthoracic Echocardiographic Examination in Adults: Recommendations from the American Society of Echocardiography // Journal of the American Society of Echocardiography. №12, 2019. С. 24-38
8.	Singla J., Grover D., Bhandari A., Medical Expert Systems for Diagnosis of Various Diseases // International Journal of Computer Applications. №7, 2014. с.36-43.