# **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**

[**Введение** 1](#_Toc10114007)

[**1.** **Анализ современных методов и средств построения интегрированных экспертных систем** 4](#_Toc10114008)

[**1.1.** **Анализ методов и средств построения интегрированных экспертных систем на основе задачно-ориентированной методологии** 4](#_Toc10114009)

[1.1.1. Основные принципы задачно-ориентированной методологии, используемые для построения интегрированных экспертных систем 4](#_Toc10114010)

[1.1.2. Анализ спецификации модели задачно-ориентированной методологии в инструментальном комплексе АТ-ТЕХНОЛОГИЯ 5](#_Toc10114011)

[**1.2.** **Исследование функциональных возможностей инструментального комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ и технологии разработки прикладных интегрированных экспертных систем** 7](#_Toc10114012)

[1.2.1. Общая архитектура инструментального комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ 7](#_Toc10114013)

[1.2.2. Общий цикл работы с инструментальным комплексом АТ-ТЕХНОЛОГИЯ и основные этапы разработки интегрированных экспертных систем 9](#_Toc10114014)

[**1.3.** **Анализ, выбор и обследование проблемной области «Медицинская диагностика» (ультразвуковое исследование)** 11](#_Toc10114015)

[1.3.1. Краткая характеристика источников знаний и методов получения знаний. 11](#_Toc10114016)

[1.3.2. Глоссарий предметной области 11](#_Toc10114017)

[1.3.3. Неформализованные задачи 12](#_Toc10114018)

[1.3.4. Логическая взаимосвязь решаемых задач 12](#_Toc10114019)

[1.3.5. Системный анализ предметной области на применимость технологии систем, основанных на знаниях 12](#_Toc10114020)

[**1.4.** **Исследование функциональных возможностей универсального АТ-РЕШАТЕЛЯ (базовая версия комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ)** 14](#_Toc10114021)

[1.4.1. Модель и структура универсального АТ-РЕШАТЕЛЯ 14](#_Toc10114022)

[1.4.2. Обобщенная модель и особенности вывода универсального АТ-РЕШАТЕЛЯ 18](#_Toc10114023)

[**1.5.** **Выводы** 21](#_Toc10114024)

[**1.6.** **Цели и задачи учебно-исследовательской работы** 21](#_Toc10114025)

[**2.** **Разработка комплексной модели демонстрационного прототипа интегрированной экспертной системы для выбранной проблемной области на основе задачно-ориентированной методологии** 22](#_Toc10114026)

[**2.1.** **Построение модели архитектуры прототипа интегрированной экспертной системы (базовые средства АТ-ТЕХНОЛОГИЯ)** 22](#_Toc10114027)

[**2.2.** **Построение модели проблемной области на основе использования средств поддержки комбинированного метода приобретения знаний и разработка базы знаний** 23](#_Toc10114028)

[2.2.1. Объектная структура предметной области 23](#_Toc10114029)

[2.2.2. Функциональная структура предметной области 25](#_Toc10114030)

[2.2.3. Построение базы знаний 28](#_Toc10114031)

[**2.3.** **Построение модели и сценария диалога с пользователем (язык ЯОСД)** 34](#_Toc10114032)

[**3.** **Проектирование и программная реализация прототипа интегрированной экспертной системы** 40](#_Toc10114033)

[**3.1.** **Разработка архитектуры, состава и структуры демонстрационного прототипа интегрированной экспертной системы** 40](#_Toc10114034)

[3.1.1. Этап анализа системных требований 40](#_Toc10114035)

[3.1.2. Этап детального проектирования 41](#_Toc10114036)

[3.1.3. Этап реализации 41](#_Toc10114037)

[3.1.4. Этап тестирования 41](#_Toc10114038)

[**3.2.** **Особенности программной реализации и тестирование компонентов прототипа интегрированной экспертной системы** 42](#_Toc10114039)

[**3.3.** **Разработка тест-примеров функционирования прототипа интегрированной экспертной системы для проблемной области «Медицинская ультразвуковая диагностика»** 43](#_Toc10114040)

[**3.4.** **Разработка сценария тестирования основных компонентов АТ-РЕШАТЕЛЯ** 45](#_Toc10114041)

[**3.5.** **Программное исследование универсального АТ-РЕШАТЕЛЯ и разработка предложений по дальнейшему развитию и реинжинирингу АТ-РЕШАТЕЛЯ на новой платформе** 46](#_Toc10114042)

[3.5.1. Общая архитектура универсального АТ-РЕШАТЕЛЯ и его компонентов 46](#_Toc10114043)

[3.5.2. Программные ошибки универсального АТ-РЕШАТЕЛЯ и предложения по реинжинирингу 49](#_Toc10114044)

[**1.** **Заключение** 51](#_Toc10114045)

[**2.** **Список литературы** 52](#_Toc10114046)

[**3.** **Приложение** 53](#_Toc10114047)

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

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

### **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 [] 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 ЗОМ и описать с помощью традиционного математического аппарата, например, теории множеств.

Каждый из базовых принципов ЗОМ подробно описан в работах [1-3], поэтому уделим основное внимание модели реализации методов ЗОМ и средствам ее поддержки на различных этапах ЖЦ построения ИЭС, как мощную автоматизированную технологию построения ИЭС, в инструментальном комплексе АТ-ТЕХНОЛОГИЯ.

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

В работе [] модель комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ представляется в виде:

*МАТ-Т =* ***<*** *МИЭС, МИНСТР, МЖЦ, МТипЗ, МКМПЗ,*

*ОИЭС-ИНСТР, ОИЭС-ТипЗ, ОТипЗ-КМПЗ ОЖЦ-ИНСТР* ***>****,*

Где МТ*i* – частичные модели, ОТ*i*-T*j*– отображения между этими моделями.

Кроме того, данная модель дополняется частичной моделью МПЛАН и отображениями ОПЛАН-ИЭС, ОПЛАН-ИНСТР. Дополнение МПЛАН 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, ЗОМ в комплексе с поддерживающими ее ИС на каждом этапе ЖЦ разработки ИЭС. Каждый из компонентов этой модели подробно рассмотрен в работах [], поэтому кратко опишем их и основное внимание уделим модели ЖЦ построения ИЭС.

В соответствии с работой [], 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 [], моделей решения типовых задач, а также методы автоматизированного приобретение знаний о проблемной области в рамках комбинированного метода приобретения знаний (КМПЗ), описанного в работах [].

Таким образом в материалах работ [] построена онтология концептуальных моделей программных архитектур статических ИЭС, предложены модели ЖЦ и автоматизированной технологии построения ИЭС в рамках ЗОМ, 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.

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

### **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. Рыбина Г.В. Общая архитектура 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.

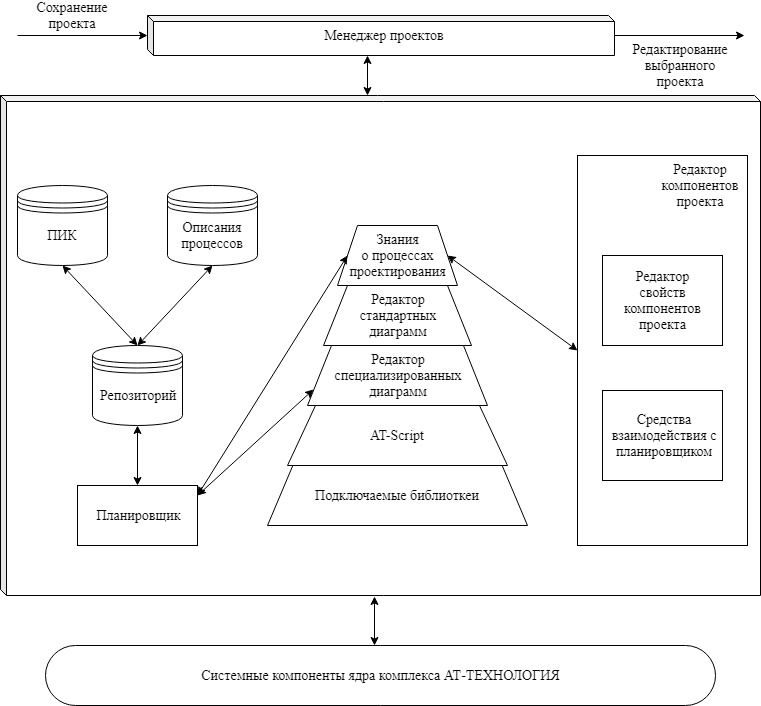
• Процедуры проектирования элементов (блоков) прикладной ИЭС.

• Процедуры программирования, конфигурирования и тестирования прототипов.

• Процедуры реализации сервисных функций.

### **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 [] изображается в виде схемы, представленной на рисунке Рис.2.

*Рис. 2. Рыбина Г.В. Общий цикл работы с комплексом АТ-ТЕХНОЛОГИЯ*

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.

В соответствии с работами [], процесс построения ИЭС для статических ПрО в инструментальном комплексе АТ-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 ЗОМ 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.

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

### **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 эксперта и исследования рекомендованной им литературы.

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

### **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.

### **Неформализованные задачи**

В исследуемой проблемной области две неформализованные задачи:

1. Диагностика образования в B-режиме

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

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

Тип данной НФ-задачи – «Диагностика»

1. Подтверждение или ослабление диагноза, полученного в B-режиме, за счет исследования образования в доплеровском режиме

**Дано:** первичный диагноз, полученный из B-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.

### **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.

### **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.

1. *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.

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

### **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.

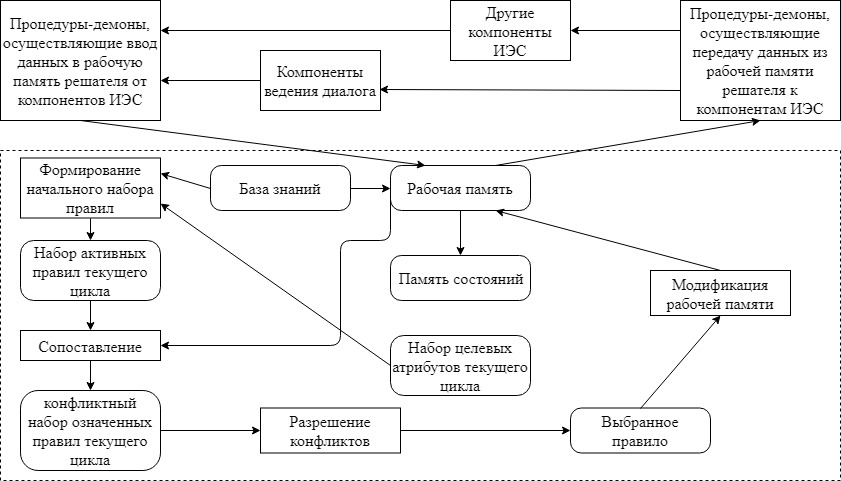
В работе [] АТ-РЕШАТЕЛЬ представляется в виде:

I = < V, S, K, W >, где

V – процесс, осуществляющий выбор из P и R подмножества активных продукций Pv и подмножества активных данных Rv соответственно, которые будут использоваться в цикле работы решателя; S – процесс сопоставления, определяющий множество означиваний, т.е. множество пар (pi, {di}), где pi ϵ Pv, {di} ⸦ Rv; K – процесс разрешения конфликтов, определяющий, какое из означиваний будет выполняться; W – процесс осуществления выполнения правила.

Общая структура решателя, представленная в работе [] изображается в виде схемы, представленной на рисунке Рис.3.

*Рис. 3. Рыбина Г.В. Структура АТ-РЕШАТЕЛЯ*



Каждый этап функционирования АТ-РЕШАТЕЛЯ подробно рассмотрен в работе [], поэтому кратко рассмотрим методы реализации расчетов, выполняемых в процессе сопоставления конкретно на фазе обработки НЕ-факторов.

В соответствии с исследованиями, проведенными в работах [], универсальный АТ-РЕШАТЕЛЬ реализует интеграцию методов обработки знаний, предусмотренных ЗОМ, а именно, принципом автоматизированного приобретения знаний. В АТ-РЕШАТЕЛЕ предусмотрена обработка знаний, содержащих такие НЕ-факторы, как неопределенность, неточность, недоопределенность и нечеткость. Поскольку обработка нечеткости и других представленных НЕ-факторов методы сильно различаются, возникает необходимость разработки интегрированной модели вывода на различных типах НЕ-факторов знаний.

Кроме того, универсальный АТ-РЕШАТЕЛЬ поддерживает подтверждение гипотез относительно целей вывода. По исследованиям, представленным в работе [], 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 [].

В качестве первой особенности модели АТ-РЕШАТЕЛЯ можно выделить модель рабочей памяти. В работе [] она представлена в виде:

Mwm = <M’kb, M’metakb, Мproblem, State>, где

M’kb – отображение БЗ в рабочей памяти ( п. 2.3); M’metakb – отображение мета-БЗ в рабочей памяти; Мproblem – решаемая в данный момент задача; State – текущее состояние решения задачи.

Также обособляется модель представления задачи в рабочей памяти. В материалах работы [] она представлена в виде

Мproblem = <ProblemDesc, ProblemType, ProblemGoals, ProblemFacts>, где

ProblemDesc – описание решаемой задачи; ProblemType – один из типов неформализованных задач, определенных в ЗОМ. Информация о типе задачи необходима для настройки средств вывода на решаемый тип задачи. ProblemGoals = {Goali} – совокупность целей или целевых утверждений вывода; ProblemFacts = {Facti} – 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 [] представлена, как показано на рисунке Рис.4.

Рабочая память

Внутреннее

представление

базы знаний

Динамический

раздел

Типы данных

Описания числовых, строковых,

лингвистических типов,

массивов, ссылок.

Метабаза знаний

Классы

Свойства класса

Методы класса

Правила класса

Метаправила

Метафункции

Служебные

контейнеры

Конфликтный набор

Дерево гипотез

Активный набор правил

Трасса вывода

(

память состояний

)

Дерево объектов

(

экземпляров

классов БЗ)

Факты (утверждения о значениях

свойств классов)

Цели и целевые утверждения

*Рис. 4. Демидов Д.В. Структура рабочей памяти*

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

Другая особенность заключается в представлении знаний в рабочей памяти. За основу берется модель представления знаний, описанная в ЗОМ, 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 работе [] 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 [] представлена в виде:

Mkb = <Types, Classes>, где

Types – множество простых типов данных (подробно описаны в разделе 2.3.2 Представление типов и структур данных);

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 [].

### **Обобщенная модель и особенности вывода универсального АТ-РЕШАТЕЛЯ**

Необходимость построения интегрированной модели вывода универсального АТ-РЕШАТЕЛЯ, в соответствии с работой [], 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 [].

Таким образом, модель вывода универсального АТ-РЕШАТЕЛЯ в работе [] представлена в виде:

I’’ = <A, S’’, K, W’’, D>, 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 [], показана на рисунке Рис.5.

Сопоставление

Разрешение

конфликтов

Выполнение

модификация

(

рабочей памяти)

Конфликтное

множество

База знаний

Множество

фактов

Множество целей

Исполняемое

правило

Дефаззификация

Выборка активных

правил

Фаззификация

Преобразования

НЕ-факторов

*Рис. 5. Демидов Д.В. Общая схема вывода АТ-РЕШАТЕЛЯ*

При совмещении схем классического и нечеткого выводов в работе [] 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.

Кратко рассмотрим стратегию ведения уточняющих поддиалогов под управлением алгоритма подтверждения гипотез, описанную в работе [].

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.

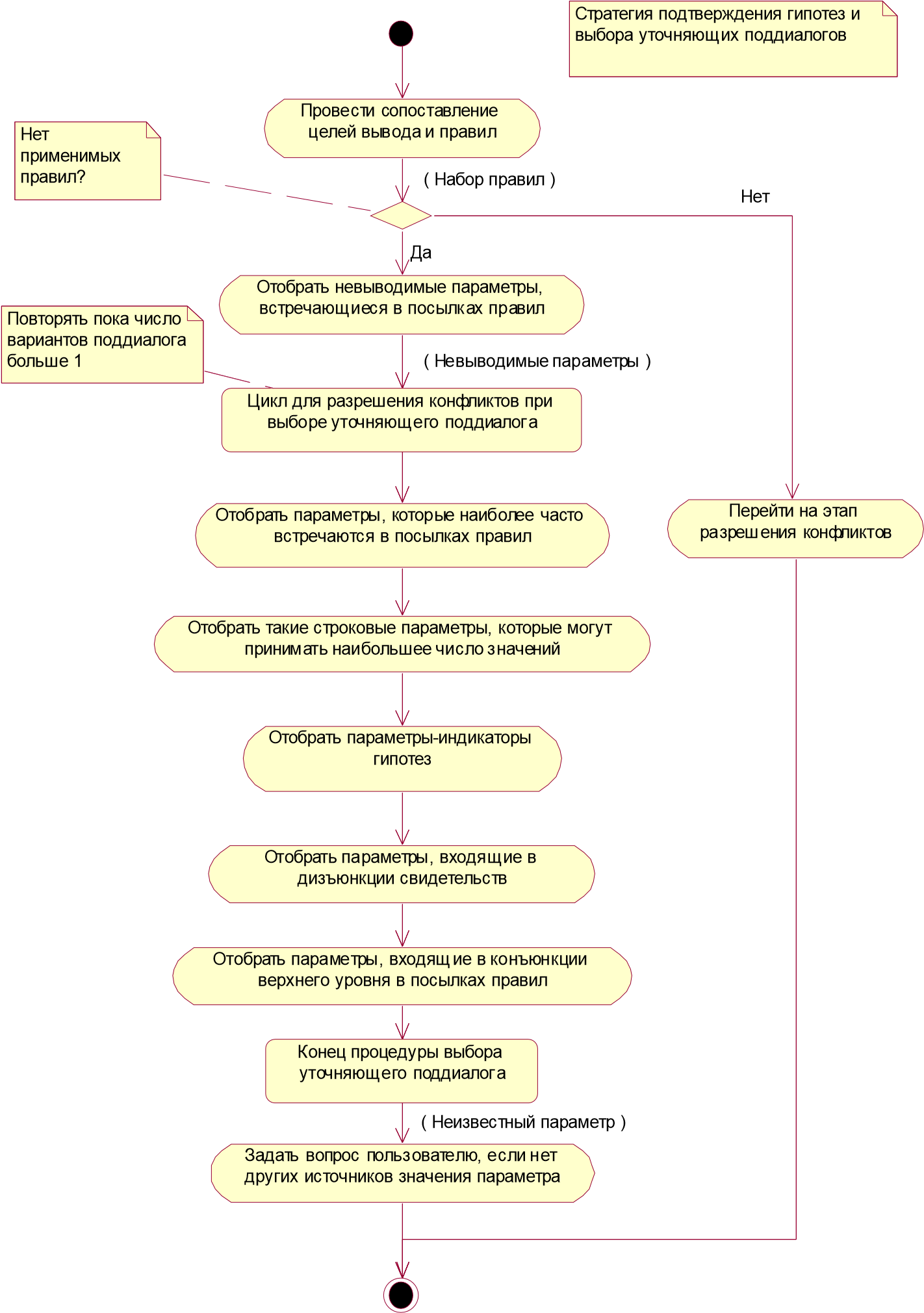
Дифференциация – получение свидетельств с целью выбора одной гипотезы из оставшихся конкурирующих (противоречивых) гипотез-кандидатов. На данном этапе собираются свидетельства, которых не хватает для определения значений истинности условий релевантных правил. Гипотеза принимается при срабатывании подтверждающего ее правила. Этап завершается, как только все неопровергнутые 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 [] 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 [] представлен в виде схемы, изображенной на рисунке Рис.6.



*Рис. 6. Стратегия подтверждения гипотез и ведения уточняющих поддиалогов*

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

## **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.

## **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. Проектирование архитектуры демонстрационного прототипа ИЭС выбранной ПрО.
2. Построение и тестирование демонстрационного прототипа ИЭС с использованием базовых средств инструментального комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ.
3. Разработка сценария тестирования основных компонентов АТ-РЕШАТЕЛЯ.
4. Разработка предложений по реинжинирингу универсального АТ-РЕШАТЕЛЯ.

# **Разработка комплексной модели демонстрационного прототипа интегрированной экспертной системы для выбранной проблемной области на основе задачно-ориентированной методологии**

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

Общая архитектура прототипа ИЭС, разработанной с помощью базовой версии инструментального комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ представлена на Рис. 7.

Как показано на Рис. 8. разрабатываемый прототип включает в себя следующие компоненты: ядро ИЭС (решатель, база знаний и рабочая память), интегрированную базу данных, диалоговый компонент, подсистему выдачи рекомендаций.

Диалоговый компонент

Подсистема выдачи рекомендаций

Ядро ИЭС

База знаний

Рабочая память

База данных

Решатель

*Рис. 7. Общая архитектура прототипа обучающей ИЭС*

Общая архитектура прототипа ИЭС, разработанной с помощью базовой версии инструментального комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ представлена на Рис. 7.

## **Построение модели проблемной области на основе использования средств поддержки комбинированного метода приобретения знаний и разработка базы знаний**

### **Объектная структура предметной области**

Основным исследуемым объектом в проблемной области «Ультразвуковая медицинская диагностика» в направлении диагностики рака молочной железы является *образование*. По данным, представленным в работе [], его общие состав и структура в рамках проблемной области включают в себя:

1. Эхо-структура молочной железы (МЖ):
   1. Однородная (преимущественно жировая)
   2. Однородная (Фиброзно-железистая)
   3. Неоднородная
2. Объемное образование:
   1. Форма:
      1. Круглая
      2. Овальная
      3. Неправильная
   2. Контуры:
      1. Четкие ровные
      2. Нечеткие неровные
      3. Нечеткие
      4. Угловатые
      5. Микродольчатые
      6. Со спикулами
   3. Ориентация:
      1. Параллельная (коже)
      2. Непараллельная
   4. Эхо-структура:
      1. Анэхогенная
      2. Гиперэхогенная
      3. Смешанная кистозно-солидная гипоэхогенная
      4. Изоэхогенная
      5. Гетерогенная
   5. Дорзальные артефакты:
      1. Нет
      2. Звукоусиление
      3. Звукоослабление (тень)
      4. Смешанные
3. Кальцинаты:
   1. В образовании
   2. За пределами образования
   3. Внутрипротоковые
4. Ассоциированные симптомы:
   1. Нарушение общей архитектоники МЖ.
   2. Изменения в протоках
   3. Утолщение кожи
   4. Втяжение кожи
   5. Отек
   6. Васкуляризация:
      1. Отсутствует
      2. Внутри образования
      3. Вокруг образования
   7. Эластичность
5. Особые случаи
   1. Простая киста
   2. Сгруппированные кисты
   3. Осложненная киста
   4. Образование в коже или на коже
   5. Инородное тело
   6. Интрамаммарный лимфоузел
   7. Артериовенозная аномалия
   8. Болезнь Мондора
   9. Послеоперационное скопление жидкости
   10. Стеатонекроз

В рамках модели будем ограничиваться только несколькими свойствами и параметрами образования в МЖ, исходя из наиболее значимых наблюдений при рассмотрении функциональной структуры предметной области.

### **Функциональная структура предметной области**

Основной целью в исследуемой проблемной области является диагностика риска злокачественности образования и необходимость назначения биопсии. Для качественной диагностики риска необходимо обследовать образование в двух режимах: B-режим и доплеровский режим.

В B-режиме устанавливаются основные ультразвуковые характеристики образования, его размеры и включения. Различные критерии ультразвуковых признаков описаны в работе [], и их можно сгруппировать в таблицу Таблица 1:

*Таблица 1. Ультразвуковые характеристики образования МЖ*

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Критерий** | **Характерное значение для доброкачественного образования** | **Характерное значение для подозрительного**  **Образования** |
| Форма / контур | Округлая (сферическая, овальная, эллипсоидная) | Неправильная |
| Контур границы | Гладкий, дольчатый, инкапсулированное образование | Неровный, растянутый, инфильтрирующий или шиповидный (лучистый) |
| Четкость краев | Края определяются четко, образование четко ограничено | Края определяются слабо |
| Акустическая плотность образования (внутренняя эхогенность) | Образование эхонегативное, Слегка гипоэхогенное,  Гипер/изоэхогенное | Образование гипоэхогенное |
| Акустическая однородность | Образование гомогенное, однородное | Образование гетерогенное, разнородное |
| Пропускание звука | Усиление  Краевое затенение | Центральное затенение  Разнообразное |
| Подвижность | Подвижно | Неподвижно |
| Сжимаемость | Сжимаемое | Ригидное |
| Отношение переднезаднего размера к ширине | < 1 | > 1 |
| Ширина больше переднезаднего размера | Переднезадний размер больше ширины |
| Ориентировано горизонтально или округлая форма (киста) | Ориентировано вертикально или округлая форма (солидное образование) |
| Параллельно грудной стенке | Перпендикулярно к грудной стенке |
| Соответствует плоскостной ориентации тканей | Пересекает плоскостное расположение тканей |
| Влияние на плоскостную ориентацию окружающих тканей | Не влияет  Выпячивает или смещает | Нарушает непрерывность  Разрушает |

УЗ-картина по сравнению с клиническим исследованием либо данными маммографии позволяет точнее судить о гистологическом размере опухоли, хотя все же имеется склонность его недооценивать, особенно если образование крупное.

В доплеровском режиме исследуются дифференциально-диагностические ультразвуковые критерии: кровоток на макроскопическом и микроскопическом уровне. По данным работы [] критерии можно также представить в виде таблицы Таблица 2:

*Таблица 2. Доплеровские признаки образования в МЖ.*

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Критерий** | **Характерное значение для доброкачественного образования** | **Характерное значение для подозрительного**  **образования** |
| Степень васкуляризации  Перфузия | Низкая  Повышается при:  Пролиферативном заболевании,  Беременности,  лактации,  воспалении | Высокая |
| Число сосудов | Отсутствуют или единичные  Повышается при воспалении | Более 3 |
| Плотность расположения сосудов | Низкая: мало сосудов в сравнении с размером образования | Высокая: много сосудов в сравнении с размером образования |
| Распределение сосудов | Периферическое | Периферическое и центральное |
| Одиночное радиальное/сегментарное | В образованиях с зонами некроза больше сосудов, расположенных периферически |
| Форма/диаметр сосудов | Прямая или суживающаяся к концу | Беспорядочная и ветвящаяся Ветвящийся тип васкуляризации |
| Ориентация сосудов | Капсулярная  Прилежащие сосуды огибают образование | Пенетрирующая, радиальная и сходящаяся |
| Скорость кровотока | Низкая (< 0,15 м/с)  (при воспалении — высокая) | Высокая (> 0,15 м/с) |
| Сосудистое сопротивление  Индекс резистентности (ИР)  Пульсационный индекс (ПИ) | Средний (< 0,7)  Менее 1,0 | Высокий (> 0,7)  Более 1,0 |

Данные критерии не являются основными, но служат для подтверждения или ослабления диагноза.

Также на риск влияют такие параметры, как: возраст, генетическая предрасположенность, телосложение, процесс полового развития, образ жизни, экология, радиационное излучение, травмы, переохлаждение.

В основной модели ПрО будем использовать модель образования, представленную в виде схемы на рисунке Рис.3.



*Рис.9. Модель образования в МЖ.*

Поле знаний и правила на ЕЯ представлены в приложении.

### **Построение базы знаний**

По построенной модели, представленной выше на Рис. 9. сформируем БЗ для разрабатываемого прототипа ИЭС.

В модели присутствуют нечеткие параметры:

1. Форма

Формой обозначается некая «вытянутость» образования. Она может иметь значения «Выше, чем шире» и «Шире, чем выше», с учетом ориентации образования относительно кожи. Обозначим лексическую переменную для параметра «Форма» на ЯПЗ:

|  |
| --- |
| "Форма"  2  "ШИРЕ-ЧЕМ-ВЫШЕ" 0 10 3 ={0,0001|0,9999; 1|0,5; 10|0,0001}  "ВЫШЕ-ЧЕМ-ШИРЕ" 0 10 3 ={0,0001|0,0001; 1|0,5; 10|0,9999} |

1. Уровень кровотока

Уровень кровотока оценивается скоростью тока крови, то есть объемом крови, проходящем через единицу площади образования за единицу времени, а также плотностью сосудов различных характеристик сосудистого сопротивления. Обозначим лексическую переменную для параметра «Уровень кровотока» на ЯПЗ:

|  |
| --- |
| "Уровень кровотока"  3  "ПОНИЖЕННЫЙ" 5 10 3 ={5|1; 7|0,3; 10|0}  "НОРМАЛЬНЫЙ" 5 10 3 ={5|0,1; 7|1; 10|0,1}  "ПОВЫШЕННЫЙ" 5 10 3 ={5|0; 7|0,3; 10|1} |

1. Уровень риска

Уровень риска используется как универсальная мера риска для различных признаков, исследуемых в УЗИ-диагностике образования в МЖ. Обозначим лексическую переменную для параметра «Уровень риска» на ЯПЗ:

|  |
| --- |
| "Уровень риска"  7  "Пренебрежительный" 0 10 3 ={0|1; 2|0,3; 10|0}  "Нормальный" 0 10 4 ={0|0; 1|1; 3|0,3; 10|0}  "Приемлемый" 0 10 4 ={0|0; 3|1; 5|0,3; 10|0}  "Средний" 0 10 5 ={0|0; 3|0; 5|1; 7|0; 10|0}  "Подозрительный" 0 10 4 ={0|0; 5|0,3; 7|1; 10|0}  "Повышенный" 0 10 4 ={0|0; 7|0,3; 9|1; 10|0}  "Экстремальный" 0 10 3 ={0|1; 8|0,3; 10|1} |

1. Ослабление риска

Ослабление риска используется после исследования образования в Доплеровском режиме, а также анализа физиологических травм пациентки на месте образования в МЖ. Обозначим лексическую переменную для параметра «Ослабление риска» на ЯПЗ:

|  |
| --- |
| "Ослабление риска"  3  "НЕЗНАЧИТЕЛЬНОЕ" 0 4 3 ={0|1; 1|0,1; 4|0}  "СРЕДНЕЕ" 0 4 3 ={0|0; 2|1; 4|0}  "ЗНАЧИТЕЛЬНОЕ" 0 4 3 ={0|0; 3|0,1; 4|1} |

1. Размер

Размер оценивается в зависимости от оцененного уровня риска различных признаков образования в МЖ и используется для постановки назначения различных процедур по дополнительным не УЗИ обследованиям образования. Обозначим лексическую переменную для параметра «Размер» на ЯПЗ:

|  |
| --- |
| "Размер"  5  "Малый" 50 250 3 ={50|1; 80|0,3; 250|0}  "Небольшой" 50 250 4 ={50|0,5; 100|1; 150|0,3; 250|0}  "Средний" 50 250 5 ={50|0; 100|0,3; 150|1; 200|0,3; 250|0}  "Укрупненный" 50 250 4 ={50|0; 150|0,3; 200|1; 250|0}  "Большой" 50 250 3 ={50|0; 220|0,3; 250|1} |

Таким образом, опишем все типы и объект в БЗ для проектируемого прототипа ИЭС на ЯПЗ.

|  |
| --- |
| ТИП ТИП1  СИМВОЛ  "КИСТОЗНАЯ"  "ПОЧТИ ПОЛНОСТЬЮ КИСТОЗНАЯ"  "ГУБЧАТАЯ"  "СМЕШАННАЯ СОЛИДНО-КИСТОЗНАЯ"  "СОЛИДНАЯ"  "ПОЧТИ ПОЛНОСТЬЮ СОЛИДНАЯ"  КОММЕНТАРИЙ Тип эхоструктуры образования в молочной железе  ТИП ТИП2  СИМВОЛ  "АНЭХОГЕННАЯ"  "ГИПЕРЭХОГЕННАЯ"  "ИЗОЭХОГЕННАЯ"  "ГИПОЭХОГЕННАЯ"  "ВЫРАЖЕННО ГИПОЭХОГЕННАЯ"  КОММЕНТАРИЙ Тип эхогенности образования в молочной железе  ТИП ТИП3  СИМВОЛ  "ШИРЕ-ЧЕМ-ВЫШЕ"  "ВЫШЕ-ЧЕМ-ШИРЕ"  НЕЧЕТКИЙ  2  "ШИРЕ-ЧЕМ-ВЫШЕ" 0 10 3 ={0,0001|0,9999; 1|0,5; 10|0,0001}  "ВЫШЕ-ЧЕМ-ШИРЕ" 0 10 3 ={0,0001|0,0001; 1|0,5; 10|0,9999}  КОММЕНТАРИЙ Отношение вышины к ширине образования в молочной железе  ТИП ТИП4  СИМВОЛ  "РОВНЫЙ"  "НЕ ОПРЕДЕЛЯЕТСЯ"  "НЕРОВНЫЙ"  "ИМЕЕТ ВИД ЭКСТРАТИРЕОИДНОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ"  "ДОЛЬЧАТЫЙ"  КОММЕНТАРИЙ Тип контура образования в молочной железе  ТИП ТИП5  СИМВОЛ  "ОТСУТСТВУЮТ"  "БОЛЬШИЕ АРТЕФАКТЫ ТИПА <<ХВОСТ КОМЕТЫ>>"  "МАКРОКАЛЬЦИНАТЫ"  "ПЕРИФЕРИЙНОЕ ОБЫЗВЕСТВЛЕНИЕ"  "МИКРОКАЛЬЦИНАТЫ"  КОММЕНТАРИЙ Тип включений в образовании в молочной железе  ТИП ТИП6  СИМВОЛ  "ПОНИЖЕННЫЙ"  "НОРМАЛЬНЫЙ"  "ПОВЫШЕННЫЙ"  НЕЧЕТКИЙ  3  "ПОНИЖЕННЫЙ" 5 10 3 ={5|1; 7|0,3; 10|0}  "НОРМАЛЬНЫЙ" 5 10 3 ={5|0,1; 7|1; 10|0,1}  "ПОВЫШЕННЫЙ" 5 10 3 ={5|0; 7|0,3; 10|1}  КОММЕНТАРИЙ Уровень кровотока в образовании в молочной железе  ТИП ТИП7  СИМВОЛ  "Пренебрежительный"  "Нормальный"  "Приемлемый"  "Средний"  "Подозрительный"  "Повышенный"  "Экстремальный"  НЕЧЕТКИЙ  7  "Пренебрежительный" 0 10 3 ={0|1; 2|0,3; 10|0}  "Нормальный" 0 10 4 ={0|0; 1|1; 3|0,3; 10|0}  "Приемлемый" 0 10 4 ={0|0; 3|1; 5|0,3; 10|0}  "Средний" 0 10 5 ={0|0; 3|0; 5|1; 7|0; 10|0}  "Подозрительный" 0 10 4 ={0|0; 5|0,3; 7|1; 10|0}  "Повышенный" 0 10 4 ={0|0; 7|0,3; 9|1; 10|0}  "Экстремальный" 0 10 3 ={0|1; 8|0,3; 10|1}  КОММЕНТАРИЙ Риск  ТИП ТИП8  СИМВОЛ  "да"  "нет"  КОММЕНТАРИЙ Логический  ТИП ТИП9  СИМВОЛ  "НЕЗНАЧИТЕЛЬНОЕ"  "СРЕДНЕЕ"  "ЗНАЧИТЕЛЬНОЕ"  НЕЧЕТКИЙ  3  "НЕЗНАЧИТЕЛЬНОЕ" 0 4 3 ={0|1; 1|0,1; 4|0}  "СРЕДНЕЕ" 0 4 3 ={0|0; 2|1; 4|0}  "ЗНАЧИТЕЛЬНОЕ" 0 4 3 ={0|0; 3|0,1; 4|1}  КОММЕНТАРИЙ Ослабление  ТИП ТИП10  СИМВОЛ  "Точно доброкачественное"  "Без подозрений на злокачественное"  "Вероятно является доброкачественным изменением"  "Является подозрительным изменением"  "Имеет высокий риск злокачественности"  КОММЕНТАРИЙ Диагноз  ТИП ТИП11  СИМВОЛ  "Малый"  "Небольшой"  "Средний"  "Укрупненный"  "Большой"  НЕЧЕТКИЙ  5  "Малый" 50 250 3 ={50|1; 80|0,3; 250|0}  "Небольшой" 50 250 4 ={50|0,5; 100|1; 150|0,3; 250|0}  "Средний" 50 250 5 ={50|0; 100|0,3; 150|1; 200|0,3; 250|0}  "Укрупненный" 50 250 4 ={50|0; 150|0,3; 200|1; 250|0}  "Большой" 50 250 3 ={50|0; 220|0,3; 250|1}  КОММЕНТАРИЙ Размер  ТИП ТИП12  СИМВОЛ  "Наблюдение"  "Биопсия"  КОММЕНТАРИЙ Назначение  ОБЪЕКТ ОБЪЕКТ1  ГРУППА ГРУППА1  АТРИБУТЫ  АТРИБУТ АТРИБУТ1  ТИП ТИП1  КОММЕНТАРИЙ Эхоструктура образования в молочной железе  АТРИБУТ АТРИБУТ2  ТИП ТИП2  КОММЕНТАРИЙ Эхогенность образования в молочной железе  АТРИБУТ АТРИБУТ3  ТИП ТИП3  КОММЕНТАРИЙ Форма образования в молочной железе  АТРИБУТ АТРИБУТ4  ТИП ТИП4  КОММЕНТАРИЙ Контур образования в молочной железе  АТРИБУТ АТРИБУТ5  ТИП ТИП5  КОММЕНТАРИЙ Включения в образовании в молочной железе  АТРИБУТ АТРИБУТ6  ТИП ТИП6  КОММЕНТАРИЙ Кровоток в образовании в молочной железе  АТРИБУТ АТРИБУТ7  ТИП ТИП8  КОММЕНТАРИЙ Есть травмы  АТРИБУТ АТРИБУТ8  ТИП ТИП8  КОММЕНТАРИЙ Есть воспаление  АТРИБУТ АТРИБУТ9  ТИП ТИП7  КОММЕНТАРИЙ Уровень риска по ультразвуковым признакам  АТРИБУТ АТРИБУТ10  ТИП ТИП7  КОММЕНТАРИЙ Уровень риска по физиологическим признакам  АТРИБУТ АТРИБУТ11  ТИП ТИП9  КОММЕНТАРИЙ Ослабление риска по симптомам  АТРИБУТ АТРИБУТ12  ТИП ТИП10  КОММЕНТАРИЙ Итоговый диагноз  АТРИБУТ АТРИБУТ13  ТИП ТИП11  КОММЕНТАРИЙ Размер образования  АТРИБУТ АТРИБУТ14  ТИП ТИП12  КОММЕНТАРИЙ Заключение  КОММЕНТАРИЙ Образование в молочной железе |

Полный список правил на ЯПЗ представлен в приложении к пояснительной записке.

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

Модель диалога для разрабатываемого прототипа ИЭС представим в виде схемы, изображенной на рисунке Рис.10.

Главная форма

Помощь

по системе

Консультация

Краткая справка

о системе

Завершение работы

*Рис. 10. Модель диалога*

Далее опишем сценарий диалога с пользователем на языке ЯОСД:

|  |
| --- |
| /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 УзнатьЭхоструктуру;  send УзнатьЭхогенность;  send УзнатьФорму;  send УзнатьКонтур;  send УзнатьВключения;  send УзнатьКровоток;  send УзнатьТравмы;  send УзнатьВоспаление;  send УзнатьРазмер;  execute ЗапускРешателя;  execute ЗапускРешателя;  execute ВыводДиагноза;  end;  subscenario ОчисткаФактов;  set #ОБЪЕКТ1.АТРИБУТ1# to '';  set #ОБЪЕКТ1.АТРИБУТ2# to '';  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('Уровень риска УЗ признаков: "', #ОБЪЕКТ1.АТРИБУТ9#, '"')),  'as String on Left') to Informer;  send concat('output ', string(concat('Уровень риска Ф признаков: "', #ОБЪЕКТ1.АТРИБУТ10#, '"')),  'as String on Left') to Informer;  send concat('output ', string(concat('Ослабление риска: "', #ОБЪЕКТ1.АТРИБУТ11#, '"')),  'as String on Left') to Informer;  send concat('output ', string(concat('Диагноз: "', #ОБЪЕКТ1.АТРИБУТ12#, '"')),  'as String on Left') to Informer;  send concat('output ', string(concat('Размер: "', #ОБЪЕКТ1.АТРИБУТ13#, '"')),  'as String on Left') to Informer;  send concat('output ', string(concat('Рекоммендация: "', #ОБЪЕКТ1.АТРИБУТ14#, '"')),  'as String on Left') to Informer;  send 'activate' to Informer;  end;  subscenario Выход;  stop;  end;  /Сообщения/  message СоздатьГлавнуюФорму to Alternativer;  line 'on $'Файл/Выход$' execute Выход';  line 'on $'Консультация/Начать сеанс$' execute НачатьСеанс';  line 'set PictureFile to $'example.bmp$'';  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 Variant 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 Variant from [$'АНЭХОГЕННАЯ$',$'ГИПЕРЭХОГЕННАЯ$',$'ИЗОЭХОГЕННАЯ$',$'ГИПОЭХОГЕННАЯ$',$'ВЫРАЖЕННО ГИПОЭХОГЕННАЯ$']');  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 Variant 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 Variant from ',  text('РОВНЫЙ','НЕ ОПРЕДЕЛЯЕТСЯ','НЕРОВНЫЙ','ИМЕЕТ ВИД ЭКСТРАТИРЕОИДНОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ','ДОЛЬЧАИЫЙ'));  line 'activate';  end;  message УзнатьВключения to Asker about #ОБЪЕКТ1.АТРИБУТ5#;  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.АТРИБУТ5'),  ' as Variant from ',  text('ОТСУТСТВУЮТ','БОЛЬШИЕ АРТЕФАКТЫ ТИПА <<ХВОСТ КОМЕТЫ>>','МАКРОКАЛЬЦИНАТЫ','ПРИФЕРИЙНОЕ ОБЫЗВЕСТВЛЕНИЕ','МИКРОКАЛЬЦИНАТЫ'));  line 'activate';  end;  message УзнатьКровоток to Asker about #ОБЪЕКТ1.АТРИБУТ6#;  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.АТРИБУТ6'),  ' as Variant 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 Variant 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 Variant 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 Variant from ',  text('Малый','Небольшой','Средний','Укрупненный','Большой'));  line 'activate';  end; |

# **Проектирование и программная реализация прототипа интегрированной экспертной системы**

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

### **Этап анализа системных требований**

Шагом разработки на данном этапе жизненного цикла является 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».

Поставить диагноз

УЗИ-картина и симптомы

Пациент

Диагноз и заключение

*Рис. 11. 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».

Пациент

Отчет

Формирование отчета

УЗИ-картина

и симптомы

Рекомендации

Диагностика экспертной системой

*Рис. 12. Детализирующая диаграмма*

### **Этап детального проектирования**

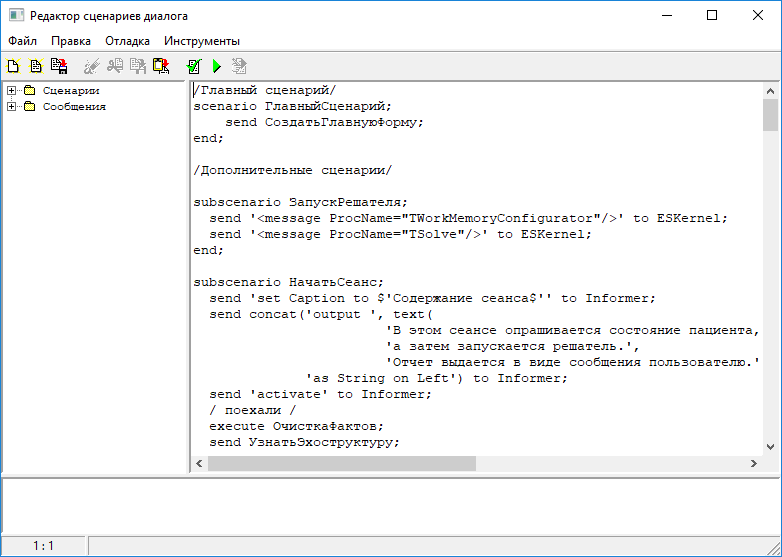
На этапе общего проектирования строится конфигурация текущего прототипа ИЭС, на основе созданной на этапе АСТП модели архитектуры.

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».

### **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*

### **Этап тестирования**

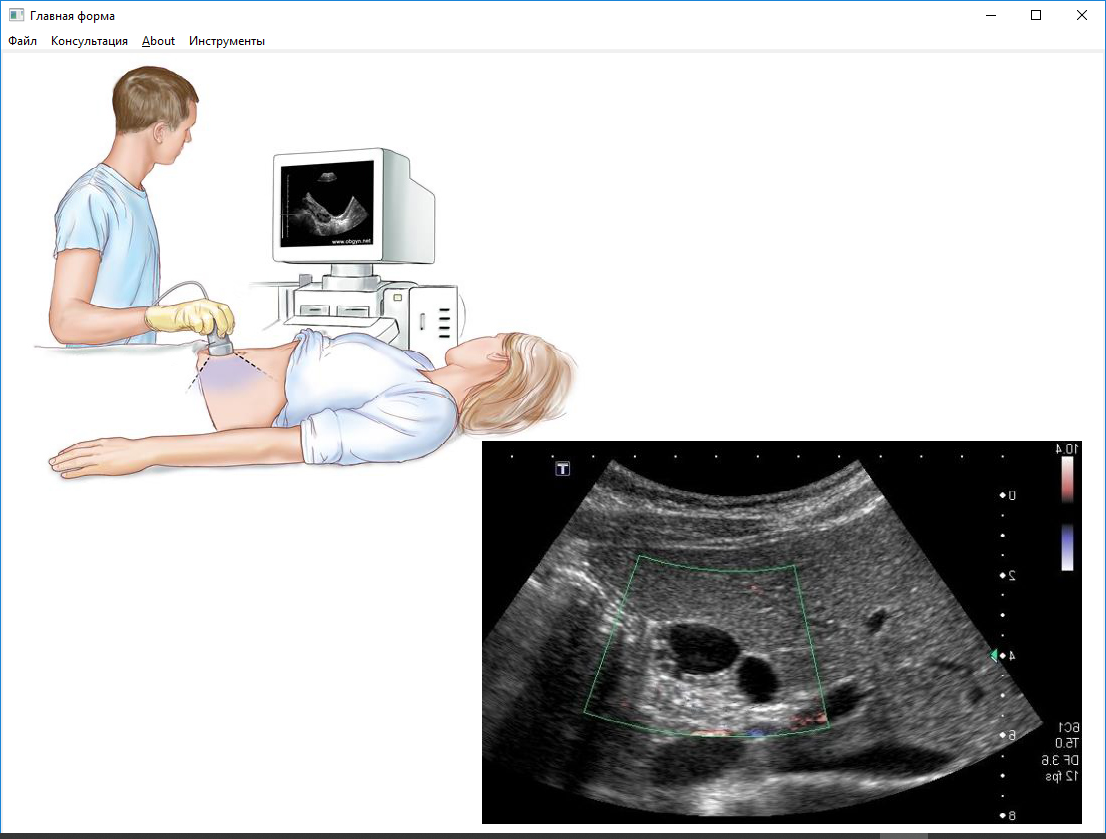
На данном этапе жизненного цикла было проведено полноценное тестирование в режиме «Консультация» в среде инструментального комплекса АТ ТЕХНОЛОГИЯ и создан отчужденный прототип.

## **Особенности программной реализации и тестирование компонентов прототипа интегрированной экспертной системы**

В данном подразделе представлен отчет о реализации и тестировании компонентов демонстрационного прототипа ИЭС.

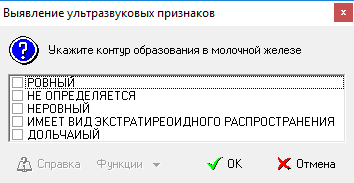
## **Разработка тест-примеров функционирования прототипа интегрированной экспертной системы для проблемной области «Медицинская ультразвуковая диагностика»**

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



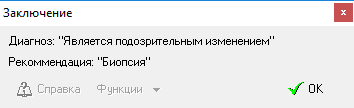
*Рис. 14. Основное окно.*

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. Диалоговая форма*

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.*

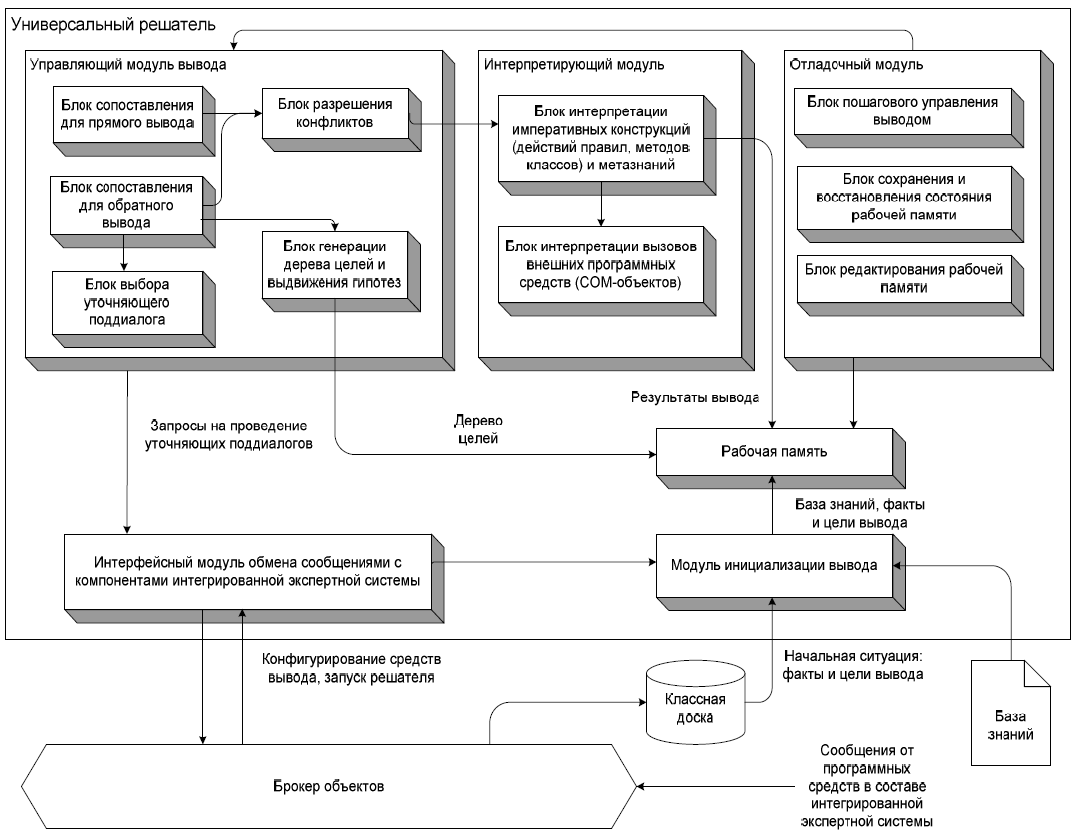
## **Разработка сценария тестирования основных компонентов АТ-РЕШАТЕЛЯ**

В данном подразделе представлена сценарий тестирования АТ-РЕШАТЕЛЯ на построенном прототипе ИЭС.

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

### **Общая архитектура универсального АТ-РЕШАТЕЛЯ и его компонентов**

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



*Рис.17. Демидов Д.В. 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 COM-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.

### **Программные ошибки универсального АТ-РЕШАТЕЛЯ и предложения по реинжинирингу**

1. Общие предложения по реинжинирингу

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. 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 [], а также словаря ЛП и возможности слияния фрагментов БЗ на ЯПЗ.
3. Обработка нечеткости при инициализации рабочей памяти

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

* 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 [], а также словаря ЛП.
3. Обработка нечеткости при инициализации рабочей памяти

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.
   1. Выводы и предложения
4. Необходимо продумать схему отладки компонента АТ-РЕШАТЕЛЬ и компонентов, использовавшихся в нем.
5. Рассмотреть варианты улучшения компонента АТ-РЕШАТЕЛЬ в направлении увеличения удобства использования и отладки.
6. **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 реинжиниринг универсального АТ-РЕШАТЕЛЯ.

1. **Список литературы**
2. **Приложение**