

**Калининградский филиал федерального государственного  
учреждения «Федеральный исследовательский центр  
«Информатика и управление» Российской академии наук»**

*На правах рукописи*



**Румовская София Борисовна**

**ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ  
КОЛЛЕКТИВНЫХ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ И  
РАЗРАБОТКА ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СРЕДСТВ  
«ВИРТУАЛЬНЫЙ КОНСИЛИУМ»  
(на примере диагностики артериальной гипертензии)**

Специальность 05.13.01 – «Системный анализ, управление  
и обработка информации (информационно-вычислительное обеспечение)»

**Диссертация на соискание ученой степени  
кандидата технических наук**

Научный руководитель:  
доктор технических наук,  
профессор  
А.В. Колесников

Научный консультант:  
кандидат медицинских наук,  
заслуженный врач РФ  
Т.В. Пасоркина

Калининград 2017

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1. АНАЛИЗ ПРОБЛЕМЫ КОЛЛЕКТИВНОЙ ВЫРАБОТКИ РЕШЕНИЙ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ ..	12
1.1. Обзор методов моделирования и интеграции знаний и средств поддержки принятия диагностических решений.....	12
1.2. Концептуальная модель и особенности неоднородных задач диагностики в медицине.....	20
1.3. Решение неоднородных задач диагностики в системах поддержки принятия решений.....	27
1.4. Гибридные интеллектуальные системы: методология и информационная технология автоматизированного решения неоднородных задач диагностики .....	31
1.5. Постановка задач диссертационной работы .....	36
1.6. Выводы по первой главе.....	39
ГЛАВА 2. АНАЛИЗ НЕОДНОРОДНОЙ ЗАДАЧИ ВЫРАБОТКИ РЕШЕНИЯ .....	41
2.1. Стратифицированный анализ неоднородной задачи диагностики .....	41
2.2. Идентификация и редукция неоднородной задачи диагностики .....	43
2.3. Функциональная неоднородность задачи диагностики .....	50
2.4. Методы автоматизированного решения диагностических подзадач и инструментальная неоднородность задачи диагностики.....	54
2.5. Выводы.....	57
ГЛАВА 3. СИНТЕЗ ГИБРИДНОЙ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ РЕШЕНИЯ НЕОДНОРОДНОЙ ЗАДАЧИ ДИАГНОСТИКИ .....	59
3.1. Моделирование разнообразия неоднородной задачи диагностики гетерогенным модельным полем.....	59
3.2. Синтез метода решения неоднородной задачи диагностики над гетерогенным модельным полем.....	72
3.3. Сокращение количества факторов, учитываемых в диагностической ситуации .....	81
3.4. Выводы.....	84
ГЛАВА 4. «ВИРТУАЛЬНЫЙ КОНСИЛИУМ» – ИНСТРУМЕНТАЛЬНАЯ СРЕДА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ....	85

4.1.Функциональная структура инструментальной среды для поддержки принятия диагностических решений .....	85
4.2.Реализация инструментальной среды «Виртуальный консилиум» в математическом пакете MATLAB–Simulink и оболочке экспертных систем KARPA PC .....	89
4.3.Методика автоматизированного решения неоднородной задачи диагностики с помощью виртуального консилиума .....	97
4.4.Базы нечетких знаний для моделирования рассуждений экспертов ...	102
4.5.Выводы.....	107
<b>ГЛАВА 5. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ СРЕДЫ «ВИРТУАЛЬНЫЙ КОНСИЛИУМ» ДЛЯ РЕШЕНИЯ НЕОДНОРОДНОЙ ЗАДАЧИ ДИАГНОСТИКИ .....</b>	<b>108</b>
5.1.Исследование неоднородной задачи диагностики в лечебно-профилактическом учреждении .....	108
5.2.Цели и задачи экспериментов с инструментальной средой «Виртуальный консилиум» .....	116
5.3.Тестирование качества моделей знаний врачей-экспертов, включенных в гетерогенное модельное поле виртуального консилиума .....	119
5.4.Тестирование качества интегрированных моделей, синтезированных виртуальным консилиумом для диагностики артериальной гипертензии.....	127
5.5.Выводы.....	134
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....</b>	<b>137</b>
<b>СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ.....</b>	<b>139</b>
<b>СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ .....</b>	<b>142</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЯ.....</b>	<b>157</b>
Приложение А. Акты о внедрении.....	157
Приложение Б. Расшифровка введенных обозначений .....	161
Приложение В. Чертежи видеокадров .....	163
Приложение Г. Структура виртуального консилиума в Simulink .....	168
Приложение Д. Результаты проверки релевантности правил диагностической нечеткой базы знаний на примере модели нечеткой системы для диагностики поражений органов-мишеней .....	170

## ВВЕДЕНИЕ

Исследование методов коллективного решения задач и их моделирование является важным направлением научных исследований и имеет большое практическое значение. Особенную роль играет исследование и моделирование коллективного решения неоднородных задач, включающих подзадачи, каждая из которых должна решаться специалистом (или специалистами) соответствующей области знаний.

Примерами подобных задач служат задачи медицинской диагностики. Часто встречающаяся полиморбидность [1] – наличие нескольких патологических процессов одновременно, осложняющих классическую клиническую картину друг друга, вносящих ошибки в диагноз и лечение, – требует участия коллектива специалистов различных профилей в принятии диагностического решения. В этих случаях для учета всех обнаруженных симптомов и признаков и, следовательно, повышения качества принимаемых решений решающую роль играет автоматизация сбора, анализа информации и поддержки принимаемых решений [2–5]. Развитие инструментальных методов исследования и контроля состояния объекта диагностики [6] влечет потребность в системах, анализирующих информацию из различной диагностической аппаратуры.

Таким образом, возникает задача повышения эффективности и качества диагностических решений в неоднородных задачах посредством создания систем, интегрирующих разнородные модели знаний и моделирующие взаимодействие рассуждений различных типов в коллективах, принимающих решения, – гибридных интеллектуальных систем. В качестве основы таких систем выступает совокупность моделей знаний различных предметных областей, которую в дальнейшем будем называть гетерогенным модельным полем.

Разработка гибридных интеллектуальных систем применительно к дифференциальной диагностике в медицине повысит безопасность принимаемых решений и сократит степень риска ошибок, в частности, в ситуациях Р. Ригельмана [7] – при атипичных симптомах и симптомах-миражах, связываемых с патологией, но к ней не относящихся и сократит потери от ошибочных и нерелевантных сложности ситуации частных решений.

Исследования в данном направлении нашли отражение в планах Российской академии наук. В планы НИР на 2013–2020 гг. включены как основные направления: создание систем поддержки принятия решений в актуальных областях клинической медицины; разработка лечебно-диагностических моделей и моделей представления информации в медицинских информационных системах.

Инструментальная среда «Виртуальный консилиум» разрабатывалась на примере неоднородной задачи диагностики артериальной гипертензии как модульная, гибкая с библиотекой всех моделей, решающих как функциональные, так и технологические диагностические подзадачи. Особенность «Виртуального консилиума для диагностики артериальной гипертензии» – использование взаимодействующих друг с другом моделей разнородных знаний из гетерогенного модельного поля, способных имитировать коллективные решения (консилиумы), в которых разнообразие хранимой и перерабатываемой информации релевантно разнообразию информации в диагностических ситуациях. Виртуальный консилиум потенциально способен динамически синтезировать новый метод формирования диагноза над гетерогенным модельным полем для каждого пациента индивидуально и применять его для подготовки рекомендаций лицу, принимающему решение.

**Объект исследования** – принятие коллективных решений (на примере диагностики артериальной гипертензии).

**Предмет исследования** – система поддержки принятия решений, включающая различные модели и базы экспертных знаний, методы моделирования рассуждений с использованием экспертных систем, искусственных нейронных сетей и генетических алгоритмов.

**Цель диссертационной работы** – создание гибридных интеллектуальных систем над гетерогенным модельным полем, обеспечивающих повышение качества диагностических решений.

Для достижения сформулированной цели в работе решены следующие **задачи**:

1. Исследование процесса принятия коллективных диагностических решений;
2. Определение методов редукции задачи диагностики и решения диагностических подзадач;

3. Разработка гетерогенного модельного поля, содержащего модели знаний экспертов и лица, принимающего решения;
4. Снижение размерности множества учитываемых в процессе выработки решения факторов;
5. Разработка алгоритма синтеза метода взаимодействия моделей знаний гетерогенного модельного поля и функциональной структуры инструментальной среды для поддержки принятия решений (на примере диагностики артериальной гипертензии);
6. Программная реализация и экспериментальное исследование инструментальной среды «Виртуальный консилиум».

**Методы и средства.** В диссертации использованы язык исчисления предикатов первого порядка; теория нечетких множеств и методы нечеткой логики; алгоритм рассуждений Такаги-Сугено, генетические алгоритмы, модульные искусственные нейронные многослойные сети с прямым распространением сигнала и продукционные экспертные системы; пакет MATLAB–Simulink, оболочка экспертных систем КАРРА РС и методы модульного программирования.

**Положения, выносимые на защиту.**

1. Концептуальная модель коллективной выработки решений;
2. Взаимодействующие модели знаний специалистов в консилиуме – гетерогенное модельное поле;
3. Алгоритм динамического синтеза над гетерогенным модельным полем процедуры выработки коллективного решения;
4. Программные средства гетерогенного модельного поля.
5. Инструментальная программная среда «Виртуальный консилиум».

**Научная новизна.**

1. Предложен новый метод диагностики объекта – гетерогенная диагностика;
2. Предложена многоуровневая (стратифицированная) модель консилиума специалистов;
3. Разработана архитектура и реализованы инструментальная среда «Виртуальный консилиум» и гетерогенное модельное поле, отражающее разнообразие моделей знаний в консилиуме.

**Область исследования.** Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 05.13.01 – «Системный анализ, управление и обработка информации» по следующим областям исследования: 4. Разработка методов и алгоритмов решения задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений и обработки информации; 5. Разработка специального математического и алгоритмического обеспечения систем анализа, оптимизации, управления, принятия решений и обработки информации; 13. Методы получения, анализа и обработки экспертной информации.

**Теоретическая значимость** результатов исследования состоит в разработке новых моделей, методов и инструментальных средств «Виртуальный консилиум», позволяющих автоматизировать процедуру выработки коллективного диагностического решения.

**Практическая ценность диссертационной работы** состоит в создании новых средств диагностики артериальной гипертензии, которые могут применяться врачами общей практики, терапевтами и кардиологами в лечебно-профилактических учреждениях широкого профиля амбулаторно-поликлинического типа, а также использоваться при обучении студентов-медиков и начинающих врачей терапевтов, кардиологов и врачей общей практики. Тестирование виртуального консилиума в Диагностическом центре Калининградской областной клинической больницы показало, что его использование повышает качество диагностических решений и уменьшает число ошибочных диагнозов.

**Связь с научными и инновационными программами.**

Результаты диссертационной работы использованы при выполнении проекта РФФИ № 16-07-00272 «Методы и модели «виртуального консилиума» – информационной технологии поддержки принятия диагностических решений», а также плановых научно-исследовательских работ Калининградского филиала федерального государственного учреждения ФИЦ ИУ РАН: проекта «Прогресс» (2013–2015 гг.) по исследованию имитации синергетического эффекта, адаптации и редуционно-интеграционных процессов в коллективах людей, вырабатывающих решения; проекта «Аватар» (2016 г.) по разработке теоретических и технологических основ моделирования процессов выработки коллективных

решений в сложных ситуациях. Результаты исследования используются в Балтийском федеральном университете им. И. Канта при обучении по направлению 09.03.02.62 – «Информационные системы и технологии» (квалификация бакалавр) в лекциях и практических занятиях по дисциплинам «Основы теории принятия решений» и «Интеллектуальные системы и технологии».

**Достоверность научных положений, рекомендаций и выводов.** Обоснованность научных положений, рекомендаций и выводов определяется корректным использованием методов и моделей искусственного интеллекта и проблемно-структурной методологии гибридных интеллектуальных систем. Достоверность положений и выводов подтверждена результатами лабораторных исследований и экспериментальными данными тестирования виртуального консилиума. Определения и методы гибридных интеллектуальных систем на неоднородной задаче диагностики, модель коллективного принятия диагностического решения апробированы на конференциях и в научных публикациях.

#### **Апробация результатов диссертационной работы.**

Основные положения диссертации были представлены и обсуждались на следующих конференциях и семинарах:

1. Международная научная конференция IT 2010 (Каунас, Литва, 2010 г.);
2. VII-я Международная научно-техническая конференция (Коломна, 2013 г.);
3. 57-я Международная научная конференция RTU (Латвия, Рига, 2013 г.);
4. V-я Всероссийская научная конференция «Нечеткие системы, мягкие вычисления и интеллектуальные технологии» и Международная молодежная школа-семинар «Нечеткие модели и вероятностные системы, гранулярные и мягкие вычисления: пути развития интеллектуальных технологий» (Сочи, 2013 г.);
5. XVI-я Всероссийская научно-техническая конференция «Нейроинформатика-2014» (Москва, 2014 г.);
6. Международная научно-методическая конференция «Информатизация инженерного образования» ИНФОРИНО-2014 (Москва, 2014 г.);
7. II-ой Международный Поспеловский симпозиум «Гибридные и синергетические интеллектуальные системы» ГИСИС'2014 и I-я



- Международная Поспеловская летняя школа-семинар для студентов, магистрантов и аспирантов «Методы и технологии гибридного и синергетического искусственного интеллекта» (Светлогорск, 2014 г.);
8. XVI-я Международная конференция «Системный анализ и информационные технологии» САИТ-2015 (Светлогорск, 2015 г.);
  9. II-я молодежная научная конференция «Задачи современной информатики» ЗСИ-2015 (Москва, 2015 г.);
  10. IV-я Всероссийская научная конференция молодых ученых с международным участием «Информатика, управление и системный анализ» ИУСА-2016 (Москва, 2016 г.);
  11. III-ья Всероссийская Поспеловская конференция с международным участием «Гибридные и синергетические интеллектуальные системы» ГИСИС'2016 (Светлогорск, 2016 г.);
  12. XV-я национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-2016 (Смоленск, 2016 г.).

**Публикации.** Всего по теме исследования опубликовано 17 работ объемом 31,1 печатных листов (из них 8,9 авторских): 4 из них – в рецензируемых изданиях из списка ВАК РФ и приравненных к ним [8–11] общим объемом 3,94 печатных листов (из них 2,7 авторских), 11 публикаций в трудах международных и всероссийских конференций [12–23] и одна коллективная монография [24]. Личный вклад соискателя в совместных научных работах состоит: в моделировании гетерогенной диагностики пациента консилиумом врачей и разнообразия задачи диагностики; в разработке интегрированной модели знаний и её программной реализации; в разработке взаимодействующих друг с другом моделей знаний специалистов в консилиуме; в разработке компьютерной реализации одного из классов гибридных интеллектуальных систем – мелкозернистых ГиИС; в исследовании диагностического процесса в лечебно-профилактических учреждениях стационарного и поликлинического типа.

**Объем и структура работы.** Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованной литературы и пяти приложений. Общий объем диссертации – 171 с. машинописного текста (с приложениями). Основная часть

работы изложена на 138 с. и содержит 27 рисунков и 25 таблиц. Библиография включает 151 наименование.

**В первой главе** исследуются концепции моделирования и интеграции знаний, исследуются методы и средства поддержки принятия решений в медицинской информатике, разрабатывается и исследуется концептуальная модель коллективной выработки решения на примере диагностического процесса, рассматривается решение неоднородных задач диагностики в системах поддержки принятия решений, рассматривается применение методологии гибридных интеллектуальных систем для поддержки принятия диагностических решений и ставятся задачи диссертационной работы.

**Вторая глава** посвящена стратифицированному анализу консилиума, идентификации и редукции неоднородной задачи выработки решения (на примере диагностики артериальной гипертензии), исследованию её функциональной неоднородности, выбору методов автоматизированного решения диагностических подзадач и анализу инструментальной неоднородности задачи диагностики.

**В третьей главе** приведены результаты разработки функциональных и технологических моделей гетерогенного модельного поля и алгоритм синтеза метода решения неоднородной задачи диагностики над ГМП.

**В четвертой главе** разработана функциональная структура инструментальной среды «Виртуальный консилиум» и её реализация средствами пакета MATLAB–Simulink/оболочки экспертных систем KAPPA PC, приведена методика автоматизированного решения неоднородной задачи диагностики АГ с помощью виртуального консилиума и рассмотрена разработка нечетких баз знаний для моделирования рассуждений врачей-экспертов.

**В пятой главе** исследована неоднородная задача диагностики АГ в лечебно-профилактическом учреждении, определены цели и задачи экспериментов с инструментальной средой «Виртуальный консилиум», выполнено тестирование качества моделей знаний врачей-экспертов, включенных в ГМП и тестирование качества интегрированных моделей, синтезированных виртуальным консилиумом.

**В заключении** приведены основные результаты и выводы диссертационной работы.

В **приложении А** приведены акты о внедрении и практическом исследовании результатов диссертационной работы.

В **приложении Б** представлена расшифровка введенных обозначений.

В **приложении В** приведены чертежи видеокадров инструментальной среды «Виртуальный консилиум».

В **приложении Г** приведена схема структуры виртуального консилиума в Simulink.

В **приложении Д** приведены результаты проверки релевантности правил диагностической нечеткой базы знаний на примере модели нечеткой системы для диагностики поражений органов-мишеней.

# ГЛАВА 1. АНАЛИЗ ПРОБЛЕМЫ КОЛЛЕКТИВНОЙ ВЫРАБОТКИ РЕШЕНИЙ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

## 1.1. Обзор методов моделирования и интеграции знаний и средств поддержки принятия диагностических решений

Выработка решений коллективом экспертов отличается от выработки индивидуальных решений [25]. Коллективные решения демократичнее и учитывают интересы некоторого множества заинтересованных лиц. При этом поставленная задача анализируется с различных точек зрения экспертами, специализирующимися в различных областях знаний. Это позволяет коллективу вырабатывать решение в задачах, непосильных для одного человека. Причем взаимодействие между экспертами устанавливается не жестко, т.е. каждый раз вырабатывается новый метод, релевантный условиям решения задачи.

Коллективная выработка решений более затратна в сравнении с индивидуальной. Отдавать группе экспертов задачу, которая под силу одному человеку, не оправданно, поэтому коллективы решают только неоднородные задачи, в частности, подобные ряду задач медицинской диагностики, для которых требуется интеграция знаний экспертов различной специализации.

Краткий аналитический обзор методов, моделирующих интеграцию знаний [26–28], представлен в табл. 1.1.

Анализ указанных концепций (табл. 1.1) показал релевантность методологии и технологии гибридных интеллектуальных систем концептуальной модели коллективной выработки решений. Для отображения состава, структуры, системности, неоднородности, в том числе терминологической, ГиИС используют несколько методов искусственного интеллекта: искусственные нейронные сети, нечеткие системы, генетические алгоритмы, экспертные системы и др., образующих гетерогенное модельное поле. Гибридные интеллектуальные системы динамически синтезируют интегрированную модель знаний над ГМП, что позволяет отобразить необходимые аспекты коллективной выработки решений.

Таблица 1.1 – Аналитический обзор основных методов моделирования интеграции знаний

Методы	Характеристики				
	Деятельность ЛПР, консультанта, эксперта по жизненному циклу решения проблем А.Б. Петровского	Модель деятельности субъекта	Разнообразие информации, относительность знаний	Взаимодействие и сотрудничество экспертов	Ситуативный синтез интегрированной модели
1	2	3	4	5	6
Методы теории принятия решений					
Рационального коллективного выбора (М.А. Айзерман и Ф.Т. Алескеров; В.С. Левченков; П. Фишберн и др.)	Постановка задачи; Выбор метода; Исполнение	Математическая	Нет	Нет	Нет
Группового многокритериального выбора (Л.Г. Евгланов, В.А. Кутузов; О.И. Ларичев; А.Б. Петровский; Дж. Александер, Т. Саати и др.)		Математическая	Нет	Нет	Нет
Междисциплинарные методы					
Гибридные системы (W. Kohn, A. Nerode; A. Puri, P. Varaija; G. Walsh; W. Witsenhausen)	Постановка задачи; Разработка метода; Исполнение	Математическая	Нет	Нет	Нет
Агрегативные системы (Н.П. Бусленко)	Постановка задачи; Разработка метода; Исполнение	Унифицированная математическая	Есть	Нет	Нет
Интегрированные методы: - многомодельные (Я.А. Гельфандбейн, А.В. Колесников, И.Д. Рудинский); - систем, основанные на знаниях (Г.С. Осипов); - семиотических систем распределенного интеллекта (В.Н. Вагин, А.П. Еремеев) и т.д.	Постановка задачи; Разработка метода; Исполнение	Математические и эвристические	Есть	Есть	Нет
Исчисление моделей (Ю.Р. Валькман)					
Нечеткие эволюционные многоагентные системы (В.Б. Тарасов)					
Гибридные интеллектуальные системы (В.В. Емельянов, А.В. Колесников, В.Л. Стефанюк, С.И. Ясиновский; S. Goonatilake; L. Medsker и др.)			Есть	Есть	Есть

Идеи интеграции знаний для моделирования коллективной выработки решений (гетерогенный подход) проникают, в частности, в область медицинской автоматизированной диагностики.

Прошло уже более 50 лет со времени получения первых основополагающих результатов по диагностике в медицинской информатике [29–39]. Новые разработки методов и средств для врачей-практиков, специализирующихся на сложных для решения задачах, в частности, на задаче диагностики артериальной гипертензии и сопутствующих сердечно-сосудистых заболеваниях, реализованы в широком спектре оборудования и программного обеспечения [40–58], доступном для клинического использования.

В Калининградском филиале ФИЦ ИУ РАН в 2010 г. выполнена НИР «Диагноз» [59] по созданию системы с базой знаний для диагностики АГ на модели «плохо структурированная задача». Подобный же подход к решению задачи диагностики АГ используется в системе МОДИС [42] и в системе И.В. Чесноковой [43]. Система МОДИС помогает врачам распознавать и объяснять АГ. В ней диагностика АГ – гомогенная задача, а эвристический поиск не гарантирует нахождения оптимального решения. Автоматизированная система диагностики АГ и подбора фармакотерапии д.м.н. И.В. Чесноковой – экспертная система помощи при диагностике и подборе терапии АГ на догоспитальном этапе.

Пример применения принципов управления сложными объектами (организм пациента) и их состояниями – гибридная трансформационная система (интеграция искусственной нейронной сети и экспертной системы) М.А. Шулаковой [44], отличающаяся применением двухуровневого алгоритма поддержки принятия решений, позволяющего объединить в единое информационное пространство отдельные модули системы.

Компьютерный комплекс «Диакомс» Е.В. Лучининой [45], базирующийся на методе электропунктурной диагностики по Накатани, может применяться для экспресс-диагностики АГ, оценки функционального состояния организма пациента в целом и ранней диагностики заболеваний до появления клинических симптомов (латентный период). Комплекс «Диакомс» сохраняет результаты измерений электропроводности в биологически активных точках в базе данных и предоставляет возможность сортировки данных. В модуле обследования пациента получается развернутая, статистически обоснованная модель функционального состояния каждого пациента. Исследование корреляции электропроводности проводилось посредством статистической обработки информации из базы данных,

а блок «Нозологическая диагностика» реализует построение диагностического правила.

Известны работы, рассматривающие организм человека и процесс его диагностики упрощенно, односторонне, что может явиться источником ошибочных решений. Сюда можно, в частности, отнести: 1) результаты диагностики сердечно-сосудистой и когнитивной подсистем человека по ЭКГ Аль Мабрук Мохаммада «Аппаратно-программные средства и алгоритмы распознавания патологий сердца на основе перцептронных сетей» [46]; 2) работу О.Ю. Ребровой «Математические алгоритмы и экспертные системы в дифференциальной диагностике инсультов», которая применяет предобработку множества характеристик состояния здоровья пациента генетическими алгоритмами с последующей классификацией инсультов посредством ИНС (диагностика сердечно-сосудистой подсистемы) [47]; 3) «Систему диагностики стеноза коронарных сосудов» профессора Ш. Занга, разработанную в рамках исследования в Университете Виргинии (диагностика сосудов, части сердечно-сосудистой подсистемы) [48]; 4) автоматизированную систему выявления аневризмы на магнитно-резонансной ангиографии [49].

Методы интеллектуальной поддержки принятия решений в задачах диагностики и лечения хронической сердечной недостаточности рассмотрены в работах Т.В. Бессоновой [50]. Они использованы автором для определения типа, стадии, функционального класса, методов лечения хронической сердечной недостаточности и прогнозирования риска внезапной сердечной смерти. В ходе диагностики ХСН по имеющимся данным из БД рассчитываются коэффициенты связи, конъюнкции и дизъюнкции нечетких логических высказываний типа «Если..., то...». По суммарному коэффициенту связи определяется вероятность диагноза ХСН.

Один из результатов работы Д.С. Залавского «Разработка решающих правил для дифференциальной диагностики осложненных форм инфаркта миокарда» [51] – информационная система для ранней дифференциальной диагностики осложненных форм инфаркта миокарда, использующая нечеткие и вероятностные процедуры анализа эмпирических данных, основанные на стратегии Байеса.

В работе [52] А.А. Грахова реализована поддержка прогнозирования, а также ранней и дифференциальной диагностики ишемической болезни сердца с

использованием комплексных методов анализа электрокардиосигнала и нейронечеткого метода принятия решения. Статистический подход к диагностике используется в работах [53, 54], где для оценки риска ишемического и геморрагического инсультов решающие правила разрабатывались многофакторной логистической регрессией и ROC-качества моделями (англ. Receiver Operator Characteristic).

В условиях неопределенности широко применяются проблемно-ориентированные системы поддержки принятия решений [3–5]. Например, «САНДИДА-ОИМ» – консультационная и диагностическая система для прогнозирования осложнений у больных с острым инфарктом миокарда в интенсивной терапии и для выявления групп «риска» [40]. Состояние больных прогнозируется по результатам ЭКГ-мониторинга первых двух суток регистрации от начала заболевания. Вначале распознается риск осложнений, и при его высоких значениях оценивается угроза летального исхода.

Многофункциональная экспертная система МЕДИА для инструментальной медицинской диагностики [41] включает три комбинируемых пакета программ. «Пакет А» автоматически формирует заключение о патологии сосудов выбранной области. Он включает десять алгоритмов диагностики сосудов мозга, брюшной полости, конечностей и др. Есть статистическая обработка материала и визуализация сосудистого региона. «Пакет В» – включает экспертную систему «Дуплекс Сосудов» и специальное программное обеспечение для редактирования и перестройки имеющихся алгоритмов диагностики сосудистых заболеваний в соответствии с собственными представлениями и опытом пользователя. «Пакет С» – программная оболочка с базой знаний о логике анализа и формирования заключения инвариантной предметной области инструментальной медицинской диагностики. Она способна синтезировать новые диагностические алгоритмы.

В терапии применяют адаптивные методы искусственных нейронных сетей [55, 56] для дифференциальной диагностики печени и желчного пузыря по результатам УЗИ. Известен пакет кардиодиагностики по спектрам тахограмм [57] фирмы RES Informatica и Центра кардиологических исследований г. Милана.

Есть диагностические медицинские системы с рассуждениями на онтологиях [58], например, виртуальный доктор или Virtual Medical Doctor (Iwate prefectural



university, г. Ивата, Япония), заменяющий на первой стадии обследования реального врача, когда пациент общается с «аватарой» (санскр. «avatāra», «нисхождение») [60]. «Аватара» в таких системах – трех- или двухмерное графическое представление (воплощение) эксперта на экране компьютера с базами знаний и данных предметной области.

Степень исследования, понимания и качества диагностики проблемных сред отражена в научной картине мира, которая онтологизирует представления человека и делает рассуждения и целенаправленную деятельность «зависимыми» от них. В искусственном интеллекте понятию «картина мира» соответствует понятие «модель внешнего мира» Д.А. Поспелова и М.Г. Гаазе-Раппопорта [61].

С точки зрения современной науки картина мира складывается из многочисленных теорий и взглядов: «ноосфера», «разумный мир» (В.И. Вернадский [62], Н.Н. Моисеев [63], А.В. Поздняков [64]); «мир диалектики» – мир диалога разных логик (Е.Л. Доценко [65]); социальная парадигма искусственного интеллекта («The society of mind») М. Минского [66]; системно-организационный подход в ИИ В.Б. Тарасова [67]; теория иерархических многоуровневых систем М. Месаровича, Д. Мако и И. Такахары [68]; мир НЕ-факторов А.С. Нариньяни [69]; гибридный интеллект в психологии и эргономике В.Ф. Венды [70], «Спектроглобус» В.П. Грибашева [71] и укладывается в шесть постулатов [24]: 1) признание гетерогенности мира и любого объекта; 2) неопределенность границ объектов; 3) относительность любой иерархии и знаний, наличие горизонтальных связей; 4) дополнительность и сотрудничество знаний; 5) полицентризм; 6) соответствие модели неоднородности объекта.

Согласно современной картине мира аналитический обзор (табл. 1.2) по материалам открытой печати основных результатов по диагностической медицинской информатике, в частности, в области диагностики артериальной гипертензии выполнен по трем основополагающим оценкам: 1) восприятие объекта диагностики (отражение у субъекта научной картины мира) – с позиции нескольких экспертов, специализирующихся в разных предметных областях (относительность знаний, разноаспектная, гетерогенная диагностика), и с позиции одного эксперта (одноаспектная, гомогенная диагностика); 2) инструментарий моделирования; 3) обрабатываемая информация.

Исследование публикаций (табл. 1.2) показало, что, в основном, преобладают средства и информационные системы, разработчики которых игнорируют неотъемлемое свойство внешнего мира и процесса диагностики различных объектов, присущее новой научной картине мира, – гетерогенность.

Таблица 1.2 – Аналитический обзор основных результатов по диагностической медицинской информатике

Источник информации	Задача, решение которой автоматизируется	Восприятие объекта диагностики субъектом и разработчиком		Инструментарий моделирования диагностического процесса			Обрабатываемая в диагностическом процессе информация		
		Гомогенная диагностика	Гетерогенная диагностика	Число используемых известных методов		Метод автоматизированного решения вырабатывается	Качественная	Количественная	Нечеткая
				один	несколько				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
[40]	Прогнозирование осложнений у больных острым инфарктом	-		-				+	
[41]	Анализ ультразвукового исследования сосудов	-			+			+	
[42]	Диагностика АГ	-		-			+	+	
[43]	Диагностика АГ и подбор лечения	-		-			+	+	
[44]	Диагностика АГ		+		+		+	+	
[45]	Диагностика АГ	-		-				+	
[46]	Анализ ЭКГ	-		-				+	
[47]	Диагностика инсультов	-		-			+	+	
[48]	Диагностика стеноза коронарных сосудов	-		-				+	
[49]	Диагностика аневризмы	-		-				+	
[50]	Диагностика и подбор лечения хронической сердечной недостаточности	-		-			+	+	+
[51]	Дифференциальная диагностика осложненных форм инфаркта миокарда	-		-			+	+	+
[52]	Прогнозирование, ранняя диагностика ишемической болезни сердца	-			+		+	+	+
[53, 54]	Оценка риска инсультов	-		-			+	+	
[55, 56]	Дифференциальная диагностика печени и желчного пузыря	-		-				+	
[57]	Кардио-диагностика на основе спектра тахограмм	-		-				+	
[58]	Сбор и анализ анамнеза	-		-			+	+	

Обозначения: + – достоинства систем; - – недостатки систем

Гомогенный подход «навязывается» и субъектам диагностики – врачам-практикам, заставляя их принимать решения по результатам, полученным: 1) либо от нескольких диагностических приборов, построенных на разных биофизических закономерностях и поэтому зачастую дающих разные оценки состояния пациента; 2) либо от врачей-экспертов различной узкой специализации по отдельности без учета интеграции их знаний.

Опытные врачи-практики преодолевают тенденцию к гомогенному подходу в диагностике использованием в своих рассуждениях модели коллективных рассуждений над диагностической ситуацией. Со временем врач-практик становится «единым во многих лицах», приобретает свойство поиска компромисса на разнородных результатах и делает все меньше ошибок в диагнозах.

Методы гетерогенной диагностики использованы в одном из аналогов – информационной системе М.А. Шулаковой [44]. Однако в ней нет распознавания патологий по результатам функциональной диагностики, препроцессии симптомов на информативность и ситуативной динамичности структуры системы.

В условиях существенного разнообразия перерабатываемой диагностической информации (качественной, количественной, нечеткой) и увеличения её объемов недостаточно применения известных методологий и технологий ИИ [25, 26]. Актуальны методологии и инструментальные средства релевантные разнообразию диагностической информации, сотрудничеству, дополнительности и относительности знаний, сочетающие системный анализ диагностической проблемы с синтезом метода её решения в работе искусственного гетерогенного коллектива. На данный момент отсутствуют аналоги систем, в которых метод автоматизированного решения неоднородной задачи диагностики вырабатывается ситуативно, а также превалируют системы, обрабатывающие не более двух типов диагностической информации.

Анализ основных результатов по диагностической медицинской информатике выявил три существенных недостатка: во-первых, отсутствие модулей, распознающих патологии по результатам функциональной диагностики; во-вторых, гомогенный подход к решению задачи; в-третьих, проектирование систем со статичной структурой, т.е. без возможности синтеза требуемой интегрированной модели знаний в зависимости от конкретной диагностической ситуации.

Указанные недостатки существующих подходов приводят к необходимости решения задач, сформулированных во введении и свидетельствуют об актуальности разработки гибридной интеллектуальной системы (разд. 1.4) для выработки коллективного решения, в частности при решении неоднородной задачи диагностики (на примере артериальной гипертензии). Прежде чем переходить к решению указанных задач, рассмотрим характеристики неоднородных задач диагностики и особенности гетерогенной диагностики, в частности в медицине.

## **1.2. Концептуальная модель и особенности неоднородных задач диагностики в медицине**

Развитие медицинской информатики связано с работами Г.М. Адельсона-Вельского, С.А. Айвазяна, Н.М. Амосова, П.К. Анохина, Р.М. Баевского, М.М. Бонгарда, В.И. Бураковского, М.Н. Вайнцвайга, С.А. Гаспаряна, А.Н. Горбань, Е.В. Гублера, Е.С. Енюкова, Ю.И. Журавлева, В.П. Карп, Б.А. Кобринского, А.Н. Колмогорова, А.С. Кронрода, Л. Ластеда, В.П. Леонова, В.И. Лищука, О.П. Минцера, Н.С. Мисюка, Г. И. Назаренко, В.С. Переверзева-Орлова, К.С. Симоняна, Д.С. Чернавского, J.H. Van Vemmel, D. Cullen, P. Fisher, L. Landucci, E.T. Lee и другими. В их работах были получены первые результаты:

1. По анализу больших объемов информации для повышения качества принятия решения относительно состояния больного [29–31];
2. По прогнозированию изменения состояния больного в процессе развития заболеваний и их исходов [32–34];
3. По контролю состояния больных в реальном масштабе времени, мониторинговых систем, в том числе с расчетом различных параметров, характеризующих патологический процесс [35–38], и с дистанционным наблюдением за пациентом в сети ЭВМ [39].

Рассмотрим особенности и принципы диагностического процесса в лечебно-профилактических учреждениях [72].

Медицинская диагностика или диагностический процесс в медицине (от др.-греч. διαγνωστικός, «способный распознавать») [73] – процесс распознавания болезни и оценки индивидуальных биологических особенностей и социального

статуса субъекта, включающий целенаправленное медицинское обследование, истолкование результатов и их обобщение в виде установленного диагноза.

Рассмотрим концептуальную модель диагностического процесса (рис. 1.1) на примере Калининградской областной клинической больницы.

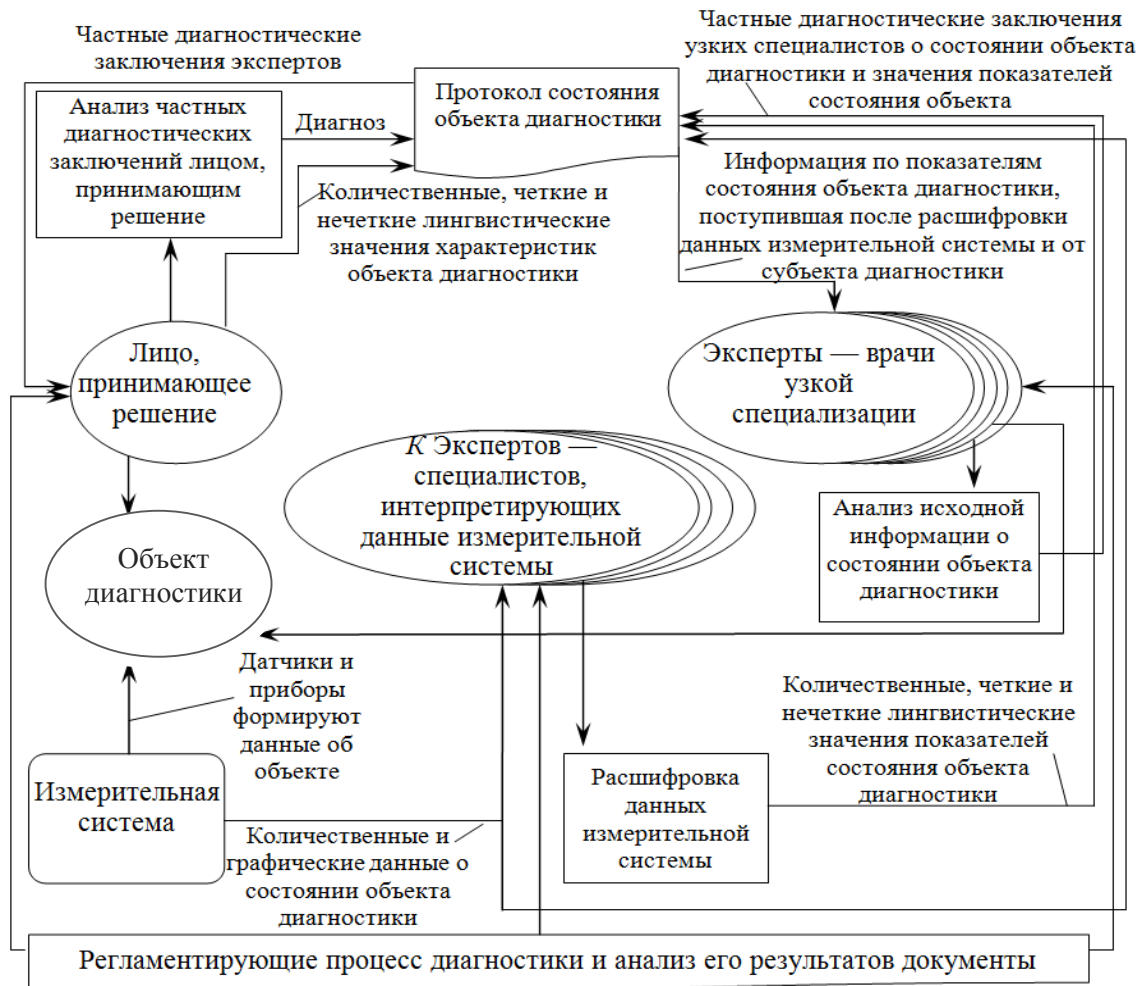


Рисунок 1.1 – Концептуальная модель диагностического процесса

Объект диагностики – система, состояние которой контролируется и анализируется субъектом диагностики. Лицо, принимающее заключительное решение о состоянии объекта диагностики (пациента), т.е. формирующее диагноз, – лечащий врач. Диагностический процесс в медицине состоит из трех основных этапов (первый этап реализует ЛПР): 1) сбор информации о состоянии больного и формирование множества симптомов (сбор анамнеза или опрос пациента); физикальное обследование – прослушивание, простукивание и прощупывание пациента; лабораторное обследование – исследования испражнений, крови и т.д., а также функциональная или инструментальная диагностика: ЭКГ, эхокардиограмма,

УЗИ и т.д.; занесение множества симптомов в протокол состояния объекта диагностики; 2) из протокола информация поступает множеству экспертов – врачам узкой специализации, которые дополняют и сопоставляют комплекс симптомов с данными об известных заболеваниях по своему направлению и выявляют совпадения заболевания с данными о состоянии больного; 3) дополнение и сопоставление лечащим врачом информации, поступившей от врачей узких специализаций, и симптоматической информации с данными об известных заболеваниях и формирование диагноза.

Каждый объект характеризуется множеством значений показателей своего состояния или характеристик (множеством симптомов). Источники исходных диагностических данных [8]: ЛПР и эксперты (субъекты диагностики), обследующие пациента и формулирующие значения показателей состояния объекта диагностики в формате количественных, лингвистических и нечетких переменных; аппаратура, снимающая значения характеристик объекта диагностики в количественном и графическом виде (детерминированные переменные).

Информация с аппаратуры заносится в протокол состояния объекта диагностики и из него поступает к субъектам диагностики. В ряде случаев требуется предварительная расшифровка результатов аппаратного сканирования врачами функциональной диагностики (специалисты, интерпретирующие данные измерительной системы на рис. 1.1). Все врачи относятся к субъекту диагностики.

Таким образом, исходные данные об объекте диагностики разнородны.

По способу установления диагноза [74] выделяют прямой, устанавливаемый по типичной совокупности признаков, и дифференциальный, основанный на выявлении различий в проявлениях данной болезни и заболеваний со сходной клинической картиной. Эти два диагноза дополняют друг друга, т.к. врач начинает диагностировать больного с позиции дифференциации, а затем оценивает симптомы с позиции прямой диагностики. Данная концептуальная модель предполагает формирование полного дифференциального диагноза больного. Например, диагностика артериальной гипертензии [75] дифференцирует первичную артериальную гипертензию или эссенциальную (хронически протекающее заболевание, класс I10 по МКБ-10 [76]) от вторичных АГ (класс I15 по МКБ-10 [76]), связанных с наличием патологических процессов.

*Определение 1.* Неоднородная задача диагностики,  $p_D$  [25], – задача, включающая «однородные подзадачи» со свойствами зашумленности, нечеткости исходных данных, специфицирующихся одним из методов формализованного представления систем и включающих контроль состояния и функционирования объекта диагностирования, выявление и локализацию отклонений.

Множество однородных задач обозначим как  $P^h = \{p_1^h, \dots, p_{N_h-1}^h, p_D^h\}$ , где  $p_1^h, \dots, p_{N_h-1}^h$  – однородные диагностические подзадачи, а  $p_D^h$  – однородная подзадача формирования заключительного диагноза.

Введем предикатные символы:  $R^{st}$  – иметь «задача-состояние»;  $R^{pr}$  – иметь «задача-свойство»;  $R^{met}$  – «иметь метод»;  $R^{act}$  – «иметь действие»;  $R^{est}$  – «иметь оценку»;  $R_2$  – «целое-часть»;  $R_3$  – «влиять на»;  $R_4$  – «есть причина».

*Определение 2.* Схема концептуальных моделей – средство определения классов понятий и типов отношений языка профессиональной деятельности, который используется для описания неоднородных предметной области (1.2) и проблемной среды (1.3).

Тогда для дальнейшей структуризации проблемной среды ((1.3), гл. 2) медицинской диагностики, используя синтаксис языка исчисления предикатов первого порядка, определение 1, определение 2 и схему неоднородной задачи (1.19) из [24], можно записать схему концептуальных моделей неоднородной задачи диагностики ( $p_D$ ) как конъюнкцию атомарных формул:

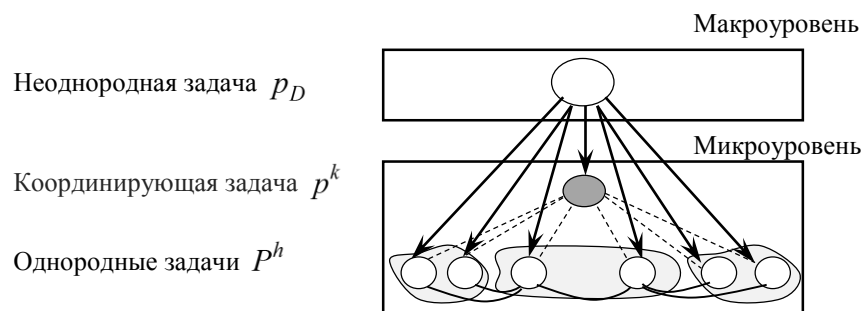
$$\begin{aligned}
 p_D = & R^{st}(p_1, G) \wedge R^{pr}(p_1, D) \wedge R^{met}(p_1, MET) \wedge R^{pr}(p_1, S) \wedge \\
 & \wedge R^{pr}(p_1, f) \wedge R^{pr}(p_1, kp) \wedge R^{pr}(p_1, kt) \wedge R^{act}(p_1, ACT) \wedge \\
 & \wedge R^{est}(p_1, EV) \wedge R_2(p_1, P^h) \wedge R_3(p_i^h, P_i^h) \wedge R_4(p_1, P^h),
 \end{aligned} \tag{1.1}$$

где  $p_1$  – «задача диагностики»;  $G, D$  – цель, определенная на множестве состояний, и входные данные неоднородной задачи диагностики, определенные на множестве свойств, соответственно;  $\wedge$  – интерпретируется как одновременная выполнимость атомарных формул, и существуют такие значения термов, при

которых атомарная формула становится фактом (если некая атомарная формула невыполнима на данном этапе исследования, то это значит, что у разработчика не хватает знаний о проблемной среде, и они будут пополнены на следующих этапах исследования); *МЕТ* – метод, модель, алгоритм и программа для решения НЗД; *S* – спецификатор НЗД, включающий идентификатор  $I_D$  и схему неоднородной проблемной среды (1.3);  $I_D$  – «Задача диагностики < некоего аспекта, подсистемы, подструктуры или системы, структуры > у < объекта > < субъектом >»;  $f$  – фазы неоднородной задачи диагностики;  $kp$  – класс переменных (табл. 2.1);  $kt$  – класс задачи (диагностика);  $EV$  – оценка результатов операции *АСТ*, исполняющей решение НЗД;  $p_i^h$  –  $i$ -ый элемент множества однородных подзадач;  $P_i^h$  –  $i$ -ое подмножество однородных подзадач.

Элементы схемы (1.1) раскрыты во второй главе для задачи диагностики артериальной гипертензии.

Исследования информации о неоднородных задачах [24, 77] показали их разнообразие: функциональную (разд. 2.3) и инструментальную неоднородность (разд. 2.4). Первая связана с проблемой «неоднородная задача–подзадачи», определяющей глубину понимания задачи. На рис. 1.2 модель неоднородной задачи диагностики имеет двухуровневое представление.



Обозначения:

→ – отношения включения; - - - - - – отношения координации; — – отношения декомпозиции

Рисунок 1.2 – Двухуровневое представление неоднородной задачи диагностики

На макроуровне НЗД – задача как целое и её свойства ( $p_D$ ); на микроуровне – система из подзадач  $P^h$  (светлые окружности) и задача  $p^k$  (темная окружность), координирующая вызов, перераспределение ресурсов, ограничение деятельности, согласование, передачу информации и т.д.



Зададим множество языков профессиональной деятельности  $L = \{L_1, \dots, L_{N_L}\}$  и отношение  $\Psi_1 \subseteq L \times \hat{S} \mid \Psi_1 \neq \emptyset$ , где  $\hat{S} = \{S_1, S_2, S_3, S_4\}$  – множество страт для модели  $mod_2$  [25] очных консультаций. Параметрическая ( $S_3$ ), ситуационная ( $S_1$ ) и потоковая ( $S_2$ ) страты тесно связаны с методами моделирования соответственно: эвристические нейровычисления, нечеткие вычисления и эволюционные; логические рассуждения, рассуждения на основе опыта и адаптивные эволюционные вычисления; и статистические вычисления. Четвертая страта – принятия решения ЛПР. В модели  $mod_1$  [25] заочных консультаций используется  $\{S_1, S_2, S_3\} \subset \hat{S}$ . В настоящей работе применена  $mod_2$ -стратификация (разд. 2.1). Одной страте может соответствовать более одного языка профессиональной деятельности, а также одному языку профессиональной деятельности может соответствовать более одной страты.

Тогда *неоднородной предметной областью* назовем:

$$E^L = \langle \hat{S}, L, \Psi_1 \rangle. \quad (1.2)$$

Пусть в  $E^L$  есть гетерогенная задача  $p_D$  с декомпозицией  $P^h = \{p_1^h, \dots, p_{N_h}^h\}$ . Допустим, что  $p_D$  может возникнуть только на  $S_4$ . Зададим  $\Psi_2 \subseteq p_D \times \hat{S}$ ,  $\Psi_3 \subseteq P^h \times \hat{S}$  – соответствия, определяющие стратификацию неоднородной задачи. Причем на каждую страту  $S_j \mid j = 1, \dots, 3$  могут попасть более одной диагностической подзадачи. Тогда при  $S_4 = \Psi_2(p_D) \exists S_1 = \Psi_3(P_1^h)$ ,  $\exists S_2 = \Psi_3(P_2^h)$ ,  $\exists S_3 = \Psi_3(P_3^h)$ .

*Неоднородной проблемной средой* назовем:

$$E^u = \langle E^L, p_D, P^h, \Psi_2, \Psi_3 \rangle. \quad (1.3)$$

Сформулируем свойства  $E^u$ :

1. В силу свойств  $E^L$  – это редуцированное, многоуровневое представление неоднородной задачи диагностики, на стратах которого есть свои язык(и) профессиональной деятельности и задачи;

2. Задача на четвертой страте неоднородная, и метод её решения неизвестен, а на первых трех – однородные с известными методами решения и возможностью построения модели;
3. Между стратами существуют двунаправленные потоки информации. Из свойств  $E''$  следуют два определения.

*Определение 3.* Функциональная неоднородность задачи диагностики – это свойство проблемной среды  $E''$ , когда задача диагностики  $p_D$  редуцирована в некоторое не одноэлементное множество  $P^h = \{p_1^h, \dots, p_{N_h}^h\} = \{p_1^h, \dots, p_{N_h-1}^h, p_D^h\}$ , и должно выполняться условие:

$$\exists p_\alpha^h \in P^h (kp_\alpha \cap kp_D = \emptyset) \mid \alpha \in \{1, N_h - 1\}, \quad (1.4)$$

где  $\alpha$  – индекс диагностической подзадачи из множества  $P^h$ ;  $kp$  – класс переменных (1.1);  $D$  – индекс подзадачи формирования заключительного диагноза.

*Определение 4.* Инструментальная неоднородность задачи диагностики – это свойство проблемной среды  $E''$ , возникающее вследствие вариативности методов из классов базисных методов [25], применяющихся для решения однородных задач.

Для решения неоднородной задачи диагностики используются как разнородная входная информация, так и разнородные знания [78] субъектов диагностического процесса (рис. 1.1) – профессиональные и теоретические (документы, регламентирующие процессы диагностики и формирования диагноза, например – [75, 79–86]). Знания экспертов и ЛПР отображаются диагностическими правилами.

*Определение 5.* Диагностические правила – соотношения между закономерностями (симптомы и симптомокомплексы), присущими каждому из распознаваемых классов (заболеваний), описывающих то или иное состояние объекта (пациента) и извлекаемых из опыта, теоретических и профессиональных знаний экспертов.

Вид диагностических правил зависит от способа их построения: 1) аналитическое выражение – вероятностные методы [87, 88], геометрические

методы [89], методы перебора конъюнкций [90] – результаты сложны для восприятия, требуют больших обучающих и контрольных выборок и ретрансляцию в более удобную для восприятия форму; 2) структуры «ситуация-решение» – метод рассуждений на основе опыта [25] – не требуют всестороннего анализа знаний о предметной области и предоставляют аддитивную модель приобретения знаний; 3) в форме «Если <условие>, то <действие>» – метод рассуждения на основе правил [91] – позволяют представить знания экспертов в удобном для пользователя виде на его «профессиональном» языке. В настоящей работе применяется последний метод представления диагностических правил (разд. 3.1, разд. 4.4).

Анализ вышесказанного показал, что концептуальная модель диагностического процесса характеризуется разнообразием обрабатываемой симптоматической информации и направлений медицины, охватываемых при диагностике пациента, что потребовало концентрации усилий на: 1) исследовании множества характеристик объекта диагностики и областей их возможных значений; 2) разработке множества моделей знаний врачей различных узких специализаций [25]; 3) синтезе интегрированной модели логики ЛПР.

### **1.3. Решение неоднородных задач диагностики в системах поддержки принятия решений**

Для разработки систем поддержки принятия решений используется обширный инструментарий: технология Olap [92] оперативной аналитической обработки многомерных данных; Data Warehouse (хранилище данных) [92]; технология Data Mining [92] изучает процесс нахождения новых полезных знаний в базах данных; методы статистического анализа; для хорошо- и слабоструктурированных проблем нейронные сети [93]; для слабо- и неструктурированных проблем CBR-системы (англ. case-based reasoning); генетические алгоритмы, эволюционные стратегии и эволюционное программирование [87] для комбинаторных и оптимизационных хорошо- и слабоструктурированных задач; деревья решений с иерархической структурой правил классификации вида «Если..., то...» для хорошо- и слабоструктурированных задач; методы нечеткой логики и нечетких моделей

(систем); алгоритмы ограниченного перебора для поиска логических закономерностей в данных небольшой размерности [87]; онтологии [94] для классификации информации, поддержки выбора метода решения задач, информационного поиска и интерпретации результатов решения задачи, а также для интеграции разнородной информации; когнитивная модель сложной ситуации (состояния слабоструктурированной системы) [95]; когнитивные карты для моделирования проблемной области [96], как динамической ситуации, с её последующим анализом; технология Интерин для создания медицинских автоматизированных информационных систем разных уровней [97]; технология SIMER+MIR [98] – совокупность программных средств для формирования качественной модели предметной области и адаптации к этой модели программных средств моделирования рассуждений типа аргументации, а также множество методов, моделирующих интеграцию знаний, краткий аналитический обзор которых [26–28] представлен в табл. 1.1.

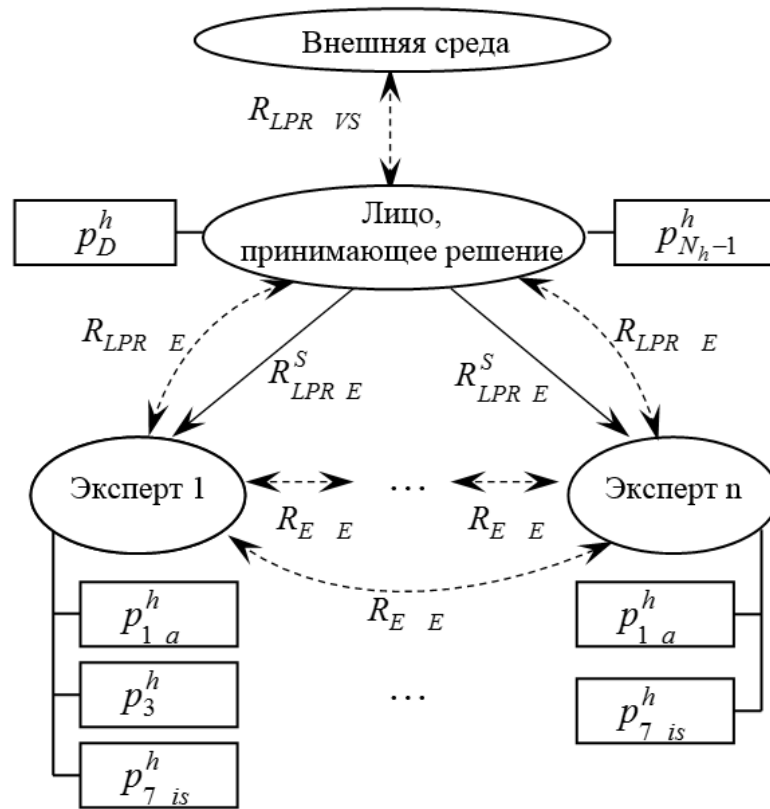
Посредством вышеперечисленного инструментария разработаны, например, такие СППР, как: 1) система «Канва» [99] для концептуального анализа и моделирования сложных и плохо определенных ситуаций, для разработки стратегий управления и в качестве инструментария для непрерывного мониторинга состояния ситуации, порождения и проверки гипотез механизмов развития и механизмов управления ситуацией; 2) интегрированная СППР по управлению проектами [100] для поддержки решений широкого круга задач жизненного цикла проекта в условиях неопределенности, нечеткости и многокритериальности, основанная на синтезе методов проектного управления, теории принятия решений, системного анализа и технологий интеллектуальной обработки информации; 3) промышленная СППР [101] для анализа состояния объектов технологической инфраструктуры предприятия с целью выработки рекомендаций по улучшению показателей их работы и предотвращению аварийных ситуаций, а также анализа статической и динамической информации об объектах с целью выработки рекомендаций для ЛПР для проведения планового технического обслуживания и/или экстренного ремонта объектов; 4) СППР «Уникум» [102] для решения задач смешанной природы, основанная на методах учета зависимости критериев при помощи иерархической структуры, а также

учете частичной рассогласованности суждений эксперта за счет использования метода согласования кластеризованных ранжировок; и др.

В естественных системах, в частности в медицине, свойство гетерогенности (разд 1.1) позволяет создавать СППР как искусственные гетерогенные интеллектуальные системы, отображающие дополнительность, сотрудничество и относительность знаний. Разнообразиие [103–105] – признак, проявление гетерогенности. Для отображения в информатике ситуативного разнообразия в естественных гетерогенных системах в [25] введены модели «неоднородная задача» и «однородная задача», а закон необходимого разнообразия У.Р. Эшби трактуется так: только разнообразная, скоординированная клиническая деятельность, элементы которой в комбинации решают одну задачу, сделает результат диагностики качественно лучше. Специфике такой работы соответствует коллективный труд экспертов в малых группах «за круглым столом» (рис. 1.3) [8] – консилиумы, совещания, естественные гетерогенные системы для решения неоднородных задач.

На рис. 1.3 концептуальная модель консилиума [8] расширена распределенными по его участникам подзадачами и подзадачей ЛПР по формированию диагностического заключения из декомпозиции  $P^h$  неоднородной задачи диагностики  $p_D$ . Одна подзадача может решаться одним экспертом ( $p_3^h$  – рис. 1.3), либо требуются знания нескольких экспертов и тогда: 1) либо частные заключения подзадачи можно аддитивно объединить лицом, принимающим решение, в одно ( $p_{1a}^h$ ); 2) либо необходима интеграция и согласование ЛПР частных заключений по соответствующей подзадаче ( $p_{7is}^h$ ). Последний случай в данной работе не рассматривается. Кроме того, ЛПР может решать не только задачу  $p_D^h$  интеграции всех частных мнений экспертов, формируя заключительный диагноз, но и принимать участие в решении подзадач, если его знания необходимы ( $p_{N_h-1}^h$ ).

Отношения декомпозиции  $R_3 \subseteq R_{LPR E}^S \cup R_{E E} \cup R_{LPR E}$  «подзадача–подзадача» детализированы на рис. 2.1 и раскрыты в (2.7) для неоднородной задачи диагностики артериальной гипертензии.



Обозначения:

$R_{LPR VS}$ ,  $R_{LPR E}$ ,  $R_{E E}$  – отношения дополнительности «внешняя среда–лицо, принимающее решение», «эксперт–лицо, принимающее решение», «эксперт–эксперт» соответственно;  $R_{LPR E}^S$  – отношения сотрудничества «лицо, принимающее решение–эксперт»

Рисунок 1.3 – Модель коллективного принятия решения в малых группах с распределением подзадач по участникам группы

На принятие коллективных решений, помимо опыта, знаний и личностных особенностей ЛПР, влияют позиции активных групп, внешней среды – объединений людей с общими интересами по отношению к решаемой задаче. Организационная структура СППР формируется установлением между ЛПР и экспертами отношений сотрудничества ( $R_{LPR E}^S$  – рис. 1.3), имеющих «договорной» характер [106] на время решения неоднородной задачи.

Взаимодействие экспертов ( $R_{E E}$ ) многогранно: 1) подчиненность; 2) в группах по профессиям (в медицине – неврология, эндокринология и т. д.); 3) обмен данными, знаниями, объяснениями и частичными решениями общей задачи. Отношения взаимодействия ЛПР и экспертов ( $R_{LPR E}$ ) бывают односторонними, а  $R_{E E}$  могут отсутствовать, когда эксперты никак не контактируют друг с другом.

Настоящая работа следует выдвинутой в [24] гипотезе: 1) в настоящее время коллективы экспертов лучше всего решают неоднородные задачи диагностики; 2) модель коллективного решения даст результаты автоматизированного решения неоднородной задачи по качеству не хуже, чем в реальном коллективе, и лучше, чем индивидуальное решение.

Данная гипотеза, а также выводы разд. 1.1 подтверждают актуальность моделирования коллективной выработки решения посредством ГиИС на модели (1.1) «неоднородная задача диагностики» и модели коллективного принятия решения в малых группах (рис. 1.3) и позволяют ввести определение 6.

*Определение 6.* «Виртуальный консилиум» – это инструментальная среда поддержки принятия диагностических решений для синтеза и реализации метода решения неоднородных задач, моделирующая работу системы «ЛППР – эксперты» как искусственную гетерогенную систему [77], интегрирующая разнородные знания экспертов и способная моделировать как отдельные линии рассуждений, так и комбинирование частных мнений в общее решение.

Анализ результатов влияния картины мира на врачебную практику и медицинскую информатику [8] показал, что, несмотря на стремление биомедицины к гетерогенности восприятия организма человека и процесса его диагностики в рамках новой картины мира, человек остается «расчлененным» объектом познания. В большинстве случаев исследователи поглощены решением частных задач и не задумываются над тем, какое значение могут иметь добытые им факты для понимания работы всего организма. В этой связи очевидна необходимость перехода от методов «конкурентной» диагностики к методам гетерогенной диагностики.

#### **1.4. Гибридные интеллектуальные системы: методология и информационная технология автоматизированного решения неоднородных задач диагностики**

Усложняющиеся задачи диагностики неизбежно приводят к ошибкам при принятии решений и увеличению сложности и трудоемкости средств автоматизированного решения в неоднородных проблемных средах (1.3). Причем

процессы выявления и понимания НЗД в медицинской информатике и синтеза метода её решения не формализованы, исследованы недостаточно и чаще всего относятся к предметной области системного анализа [107, 108].

В [26] были предложены подход и концептуальная модель процесса понимания НЗД и синтеза метода её решения в СППР. Суть подхода может быть сформулирована в виде следующих двух гипотез:

1. Для понимания неоднородной задачи диагностики она должна быть редуцирована, построены её декомпозиции, специфицированы подзадачи и их координация;
2. Не может быть одного единственного метода, используемого в СППР для решения неоднородных задач диагностики. Вместо этого СППР располагает набором инструментальных средств, над которыми такой метод может быть сконструирован. Из гипотез следуют два определения.

*Определение 7.* Гетерогенное модельное поле неоднородной задачи диагностики – множество разнородных моделей, отображающих теоретические, профессиональные знания и опыт экспертов, приглашенных в виртуальный консилиум поддержки принятия диагностических решений для обсуждения и для высказывания своего мнения относительно решения подзадач из состава неоднородной задачи диагностики.

*Определение 8.* Синтез метода решения неоднородной задачи диагностики – процесс моделирования рассуждений лица, принимающего решения, в результате которого над гетерогенным модельным полем строится интегрированная модель, релевантная диагностической ситуации и отображающая относительность и дополнительность знаний.

Исследование велось в рамках концепции ГиИС [26] (разд. 1.1), позволяющих отобразить состав, структуру, такие свойства задачи, как системность, неоднородность, в том числе и терминологическую.

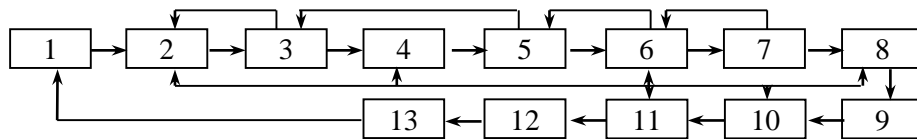
Систему автоматизированной диагностики определим в соответствии с (5.16) из [25] и заданными в (1.1) понятиями как ГиИС, воспринимающую входные диагностические данные, выдающую выходные сигналы (диагноз) и находящуюся в некотором состоянии, релевантном состоянию коллективного диагностического процесса:



$$\begin{aligned} \alpha(t) = & R^{met}(gis, MET^i) \wedge R^{pr}(gis, \bar{D}_D) \wedge R^{pr}(gis, \bar{G}_D) \wedge R^{st}(gis, \bar{st}) \wedge \\ & \wedge R_{f_1}(\bar{st}(t), \bar{st}(t+1)) \wedge R_{f_2}(\bar{D}_D(t), \bar{st}(t)) \wedge R_{f_3}(\bar{st}(t), \bar{G}_D(t)) \wedge \\ & \wedge {}^{\psi\phi}R_{int}^k(gis^n, gis^n) \wedge R_D(\bar{D}_D, D^n) \wedge R_G(G^n, \bar{G}_D), \end{aligned} \quad (1.5)$$

где  $gis$  – «ГиИС»;  $MET^i$  – интегрированный метод;  $\bar{D}_D$  – вектор исходных данных НЗД (1.1), передаваемый на вход одного или нескольких элементов из  $gis^n$ , решающих подзадачи из декомпозиции неоднородной задачи диагностики (разд. 2.2);  $\bar{G}_D$  – вектор выходных данных НЗД;  $\bar{st}$  – вектор состояния ГиИС, формирующийся из состояний элементов из  $gis^n$ ;  $R_{f_1}$ ,  $R_{f_2}$ ,  $R_{f_3}$  – отношения, заданные в смежные моменты времени на множестве пар вход–состояние и на множестве пар состояние–выход, соответственно;  ${}^{\psi\phi}R_{int}^k$  – отношения интеграции элементов  $\phi$  и  $\psi$ , знания которых участвуют в интеграции типа  $k$ ;  $D^n$ ,  $G^n$  – множество свойств «вход» и «выход» элементов из  $gis^n$ , соответственно;  $R_D$ ,  $R_G$  – отношения на множестве пар вход ГиИС–входы элементов и на множестве пар выходы элементов–выход ГиИС, соответственно.

Гибридная интеллектуальная система решения неоднородной задачи диагностики разработана в соответствии с проблемно-структурной методологией [25], «жизненный цикл» которой представлен на рис. 1.4.



Обозначения:

1 – «Идентификация неоднородной задачи диагностики»; 2 – «Редукция неоднородной задачи диагностики»; 3 – «Спецификация диагностических подзадач»; 4 – «Выбор методов автоматизированного решения диагностических подзадач»; 5 – «Проверка инструментальной неоднородности задачи диагностики»; 6 – «Разработка моделей автоматизированного решения диагностических подзадач»; 7 – «Спецификация областей релевантности моделей гетерогенного модельного поля»; 8 – «Спецификация связей неоднородных задач диагностики»; 9 – «Разработка интерфейсов диагностических моделей»; 10 – «Разработка таблицы гибридных стратегий»; 11 – «Выбор стратегии из таблицы гибридных стратегий»; 12 – «Синтез метода решения неоднородной задачи диагностики»; 13 – «Машинные эксперименты и интерпретация результатов»

Рисунок 1.4 – Жизненный цикл проблемно-структурной методологии решения неоднородных диагностических задач

Этапы 1–5 относятся к системному анализу, а этапы 6–12 – к синтезу интегрированной модели знаний для решения НЗД.

1-й этап «Идентификация неоднородной задачи диагностики» (результаты исследований по первому этапу даны в разд. 2.2). По схеме концептуальных моделей НЗД  $p_D$  (1.1) определяются входные и выходные (элементы диагноза) диагностические данные для решения неоднородной задачи диагностики, её идентификатор и спецификатор.

2-ой этап (разд. 2.2). «Редукция НЗД». Исходная неоднородная задача диагностики редуцируется [25] в множество диагностических подзадач (2.5) и строится множество её декомпозиций, включающих как функциональные подзадачи, составляющие функциональную структуру НЗД, так и технологические диагностические подзадачи, решаемые для эффективной организации обработки данных и знаний в ходе диагностического процесса.

3-ий этап (разд. 2.2, 2.3). «Спецификация диагностических подзадач». Здесь каждая диагностическая подзадача идентифицируется по схеме концептуальных моделей (1.18) из [25]. В итоге выявляется функциональная неоднородность задачи диагностики (разд. 2.3).

4-ый этап (разд. 2.4). «Выбор методов автоматизированного решения диагностических подзадач». При выборе метода релевантного свойствам диагностической подзадачи учитываются его качественные характеристики с тем, чтобы обеспечить требуемую функциональность диагностической ГиИС в целом.

5-ый этап (разд. 2.4). «Проверка инструментальной неоднородности задачи диагностики». Для множества диагностических подзадач рассчитываются оценки принадлежности выбранного на четвертом этапе метода к одному из шести классов базисных методов [25]. Если методы отнесены к одному и тому же классу, то задача диагностики оценивается как удовлетворяющая модели «однородная задача» (2.6), и строится модель [25] рассуждений эксперта/экспертов при решении диагностической подзадачи. Если в декомпозиции НЗД обнаружены области инструментальной неоднородности, то необходима гибридизация.

6-ой этап (разд. 3.1). «Разработка моделей автоматизированного решения диагностических подзадач». На этом этапе в соответствии с методами моделирования профессиональных знаний и опыта [25] разрабатывается

гетерогенное модельное поле. Оно содержит модели релевантные диагностическим подзадачам из декомпозиции НЗД (разд. 2.2).

7-ой этап (разд. 3.2). «Спецификация областей релевантности моделей гетерогенного модельного поля». Реализуется при наличии альтернативности (функциональной избыточности) инструментариев решения одной и той же диагностической подзадачи. На выбор альтернативы влияют параметры внешней среды, например, для диагностической СППР – время приема пациента, регламент процесса диагностики и свойства ресурсов, показатели состояния объекта диагностики. Множества их значений – области релевантности моделей.

8-ой этап «Спецификация связей неоднородных задач диагностики». Здесь устанавливаются связи с другими НЗД, влияющими на результаты диагностического процесса. Данная работа представлена рассмотрением одной неоднородной задачи диагностики.

9-ый этап (разд. 3.2). «Разработка интерфейсов диагностических моделей». Интерфейсы реализуют отношения интеграции знаний [25], а также формулу ГиИС (1.5) над гетерогенным модельным полем.

10-ый этап (разд. 3.2). «Разработка таблицы гибридных стратегий». Выполняется замена отношений декомпозиции (второй этап) на отношения интеграции знаний и строится ТГС, отражающая варианты гибридных стратегий [25] – концептуальных моделей функционирования ГиИС, описывающих изменение вектора её состояния (1.5) и определяющих её функциональную структуру.

*Определение 10.* Таблица гибридных стратегий  $(T^u)$  – это таблица, строки и столбцы которой – однородная задача/модели однородной задачи, а элементы содержат: 1) отношения интеграции знаний с учетом априорных знаний о плюсах и минусах базисных методов (П2.1–П2.6 в [26]; 2) в скобках количественные экспертные оценки (табл. 3.5, разд. 3.2) потенциальных возможностей парных комбинаций (ди-гибридов) по шкале от 1 – «бесполезен» до 10 – «наиболее полезен» (табл. 8.6 в [73] о гибридных возможностях классов базисных методов).

11-й этап «Выбор стратегии из таблицы гибридных стратегий» (разд. 3.2, гл. 4). В режиме взаимодействия с пользователем выбирается стратегия из таблицы

гибридных стратегий для синтеза ГиИС. Принятие решений на этом этапе отражает ситуативность решения НЗД.

12-й этап «Синтез метода решения неоднородной задачи диагностики» (разд. 3.2, гл. 4). В режиме взаимодействия с пользователем инициализируется ГиИС решения НЗД. Для этого разработан эвристический алгоритм (разд. 3.2), преобразующий гибридную стратегию из ТГС в список троек (модель однородной задачи, модель однородной задачи, межмодельный интерфейс) для последующей инициализации функциональной структуры ГиИС.

13-ый этап «Машинные эксперименты и интерпретация результатов» (гл. 5). Выполняются модельные эксперименты, в которых в определенном декомпозиции порядке моделируется решение однородных диагностических задач на моделях ГМП в соответствии с причинно-следственными отношениями  $R_4(p_1, P^h)$  (1.1).

Результат модельных экспериментов – диагноз, который как консультация передается для рассмотрения пользователю. Если результат решения не устраивает пользователя, он может внести изменения в состав ГиИС, вернуться к этапу 12, а затем повторить модельные эксперименты.

Таким образом, применение модели консилиума (рис. 1.3) для поддержки принятия неоднородных диагностических решений и проблемно-структурной методологии ГиИС в медицине предоставит гетерогенное восприятие объекта (пациента), влекущее целостное восприятие организма человека во время его диагностики.

## 1.5. Постановка задач диссертационной работы

Результаты предыдущих разделов позволяют перейти к формулировке задач диссертационной работы.

Один из главных вызовов для лица, принимающего решение в сложных медицинских диагностических ситуациях, – способность качественно осмысливать большой объем разнородной информации на сокращающихся временных интервалах приема пациентов [8], синтезируя целостное представление об объекте диагностики из нередко противоречивой мозаичной картинки диагностической

ситуации. Однако ЛПР все более склонны оперировать эмоциональными понятиями, а не логическими связями [109].

Диагностический процесс в сложных ситуациях медицинской диагностики носит коллективный характер (разд. 1.3). Именно коллективы специалистов (консилиумы) [110] в настоящее время способны оценивать ситуации и выработать адекватные диагностические решения. Коллективная выработка решений [111, 112] сводится к процессам анализа задачи, синтеза метода её решения, получения результатов решения задачи, согласования мнений, прогнозирования последствий результатов решения задачи, выбора окончательного решения, реализации решений и их оценки. При этом процессы выявления и понимания НЗД и синтеза метода её решения исследованы недостаточно.

Значимую позицию в ходе обработки информации в направлении от объекта диагностики к программе модели занимают концептуальные модели диагностического процесса [26]. Они ограничивают предметную область и вносят в моделирование субъективных представлений знания и опыт.

В этой связи первая задача диссертационной работы: «Исследование процесса принятия коллективных диагностических решений». Результаты её решения: 1) концептуальная модель диагностического процесса, отображающая гетерогенную, скоординированную деятельность коллективного труда экспертов в малых группах; 2) стратифицированная модель консилиума специалистов, отображающая в искусственной гетерогенной системе относительность знаний, что позволяет преодолеть в медицинской диагностике положение, когда организм пациента воспринимается врачом-практиком как редуцированный объект.

Избавиться от эмоционального мышления позволяет системное мышление, фундамент которого – «операционное» мышление [113]. Операционное, структурированное мышление может разложить задачу диагностики – разнородную информацию, на взаимосвязанные элементы – подзадачи, однородные области, моделировать частные мнения, профессиональные точки зрения относительно фактов и явлений в узких предметных областях и организовать сотрудничество дополняющих друг друга разнородных знаний.

В этой связи вторая задача диссертационной работы: «Определение методов редукции задачи диагностики и решения диагностических подзадач». Результаты

её решения включают декомпозицию НЗД и множество методов решения диагностических подзадач. Последние два результата получаются в соответствии с применяемой методологией разработки ГиИС (разд. 1.4) – вначале проводится анализ задачи: её идентификация, редукция и выбор методов решения подзадач, полученных посредством редукции. Это выполняется для упрощения и улучшения понимания неоднородной задачи разработчиком и для выявления в ней областей неоднородности. При этом, как показывает концептуальная модель (рис. 1.1), исходными данными являются: документы, регламентирующие процесс диагностики, и знания ЛПР (например, кардиолог, терапевт) и экспертов – врачей узких специализаций. В итоге формируется декомпозиция, выделяются множества функциональных и технологических подзадач, для каждой из которых подбирается множество методов решения.

Концептуальная модель диагностического процесса содержит: модель ЛПР (субъекта диагностического процесса); модели экспертов, расшифровывающих данные, поступающие от приборов (могут отсутствовать); модели экспертов, формирующих частные подзаключения о состоянии объекта диагностики, что удовлетворяет модели системы поддержки коллективного принятия решений, консилиума (рис. 1.3). Тогда в соответствии с проблемно-структурной методологией разработки ГиИС (рис. 1.4) необходимо разработать гетерогенное модельное поле – основополагающую составляющую гибридных интеллектуальных систем [25, 26]. ГМП функционально избыточно, содержит модели релевантные подзадачам из декомпозиции неоднородной диагностической задачи и моделирует многообразие и относительность профессиональных экспертных знаний, имеющих в распоряжении лица, принимающего решение, для организации консилиума. С учетом такого разнообразия ЛПР делает выбор о включении экспертов в состав консилиума и обеспечивает дополненность и сотрудничество знаний в ходе коллективных рассуждений над диагностической задачей.

Возникает задача разработки нового гетерогенного модельного поля, релевантного разнообразию знаний экспертов из консилиума, что позволяет отобразить дополненность знаний и учесть разнообразие мнений экспертов в диагностических ситуациях.

Согласно концептуальной модели (рис. 1.1), и сам диагностический процесс, и его моделирование, т.е. разработка диагностических правил, содержащих знания экспертов, ЛПР и знания из регламентирующей документации, сопровождается сбором и анализом разнородной исходной информации большой размерности. Таким образом, встает частная задача снижения размерности множества учитываемых в процессе выработки решения факторов (показателей состояния объекта диагностики).

Поскольку для релевантного отображения свойств и процессов гетерогенной диагностики в разделе 1.1 обоснован выбор методов искусственных гетерогенных систем – ГиИС (табл. 1.1), то возникает задача разработки алгоритма синтеза метода взаимодействия моделей знаний гетерогенного модельного поля (разд. 3.2) и функциональной структуры (разд. 4.1) инструментальной среды для поддержки принятия решений (на примере диагностики артериальной гипертензии).

Для того чтобы подтвердить релевантность теоретических посылок, разработанных моделей (разд. 4.2) и методики применения ПП «Виртуальный консилиум для диагностики артериальной гипертензии» (разд. 4.3) реальной ситуации диагностики АГ в лечебно-профилактических учреждениях амбулаторно-поликлинического типа, необходимо провести лабораторные эксперименты с исследовательским прототипом ГиИС автоматизированной диагностики АГ (разд. 5.3–5.4). ВКДАГ моделирует принятие решений медицинским консилиумом (лат. *consilium* совещание, обсуждение) [114] – совещанием врачей разных специальностей с целью выработки заключения о состоянии здоровья обследуемого, т.е. моделирует деятельность ЛПР (кардиолога) по взаимодействию с экспертами (врачами смежных специальностей). Таким образом, возникает последняя задача: «Программная реализация и экспериментальное исследование инструментальной среды «Виртуальный консилиум»».

## **1.6. Выводы**

Анализ методов интеграции знаний (табл. 1.1) и аналогов (табл. 1.2) подтвердил актуальность перехода к созданию искусственных гетерогенных диагностических систем со свойствами дополнительности, сотрудничества и

относительности знаний. Такие системы синтезируют интегрированные методы и модели, разнообразие которых устранил разнообразие информации об объекте диагностики. Это обеспечит переход от гомогенного восприятия объекта диагностики к гетерогенному и переход от статичной структуры диагностических систем к модульной, гибкой, изменяемой под конкретную диагностическую ситуацию.

Рассмотрены понятие неоднородной задачи диагностики и её особенности. Построена концептуальная модель (1.1), анализ которой показал, что для автоматизации поддержки принятия диагностических решений необходим гибридный интеллектуальный подход, в частности применение методологии создания ГиИС, наследующих функциональную неоднородность решаемой задачи. Данный вывод подтверждает актуальность поставленной ранее научно-технической задачи повышения эффективности и качества диагностических решений в неоднородных задачах в условиях разнообразия информации посредством разработки ГиИС.

Адекватность предлагаемого подхода подтверждена в главах 2–5 данной работы на примере неоднородной задачи диагностики артериальной гипертензии. В связи с этим формула (1.1) используется в разделе 2.2 при идентификации и редукции НЗДАГ.

Согласно определению 9 гибридной интеллектуальной системы автоматизированной диагностики и схеме (1.5), разработан алгоритм синтеза метода решения неоднородной задачи диагностики и описан в разделе 3.2.

В качестве тестовой задачи для проведения исследований по моделированию решения неоднородной задачи диагностики выбрана задача диагностики артериальной гипертензии.



## ГЛАВА 2. АНАЛИЗ НЕОДНОРОДНОЙ ЗАДАЧИ ВЫРАБОТКИ РЕШЕНИЯ

### 2.1. Стратифицированный анализ неоднородной задачи диагностики

Следуя Месаровичу и Такахаре [68], анализ неоднородной задачи будем проводить с различных точек зрения, относительно позиций наблюдателей, экспертов – врачей смежных специальностей, профессионально лучше, чем ЛПР, знающих отдельные аспекты гетерогенной задачи. В итоге будет создано несколько относительно простых моделей, реализовать и исследовать которые для решения задачи значительно проще. При этом качество решений зависит от количества таких выделенных аспектов-страт.

В работе была построена стратифицированная (многоуровневая) модель консилиума специалистов [8] в соответствии с моделью [25] очных консультаций.

Пусть задана гетерогенная система принятия решений:  $S: PR_1^X \rightarrow PR_1^Y$ ;  $PR_2^X \rightarrow PR_2^Y$ ;  $PR_3^X \rightarrow PR_3^Y$ , где  $PR_j^X$ ,  $PR_j^Y$  – множества свойств «вход» и «выход» соответственно. Каждая пара  $(PR_j^X, PR_j^Y) | j = 1, 3$  приписывается страте  $S_j | j = 1, 2, 3$  (разд. 1.2). Тогда можно ввести модель стратификации системы принятия решений  $S = \langle S_1, S_2, S_3, S_4 \rangle$  [25]:

$$\left\{ S_j : PR_j^X \times ACT_4 \rightarrow PR_j^Y \right\}, \left\{ S_4 : PR_4^X \times ACT^L \rightarrow PR_4^Y \right\} \mid j = 1, 2, 3, \quad (2.1)$$

где  $ACT_4$  – множество воздействий ЛПР на экспертов смежных специальностей;  $ACT^L$  – множество воздействий первых трех страт на четвертую: поступление значений показателей состояния объекта диагностики от экспертов смежных специальностей.

Принятие решения в системе  $S$  реализуется за «круглым столом», когда ЛПР формирует коллектив для решения  $p_D$  на четвертом уровне. В модель стратификации [25] введем  $ACT_4^4$  – множество действий «воздействие ЛПР на

самого себя»;  $ACT^{j_1}$  – множество воздействий экспертов страт  $j_1$  на страту  $j$ : поступление значений показателей состояния объекта диагностики и промежуточных заключений от экспертов смежных специальностей. Тогда модель (2.1) трансформируется в:

$$\{S_j : PR_j^X \times ACT_4 \times ACT^{j_1} \rightarrow PR_j^Y\}, \{S_4 : PR_4^X \times ACT^L \times ACT_4^4 \rightarrow PR_4^Y\}, \quad (2.2)$$

где  $j \neq j_1$  и  $j, j_1 = 1, 2, 3$ , а  $PR_j^Y \subset PR_4^X$  (множества свойств «выход» первых трех страт – это подмножества свойства «вход» четвертой страты).

Согласно (1.2), «неоднородная предметная область диагностики в медицине»:  $E^L = \langle \{S_1, S_2, S_3, S_4\}, L, \Psi_1 \rangle$ , где  $L$  – профессиональный язык экспертов,  $\Psi_1 \subseteq L \times \{S_1, S_2, S_3, S_4\}$ . Тогда в соответствии с (1.3) запишем модель «неоднородная проблемная среда» как:

$$E^U = \langle E^L, p_D, P^h, \Psi_2, \Psi_3 \rangle, \quad (2.3)$$

где  $P^h = \{p_i^h | i = \overline{1, N_h}\}$  – множество подзадач из декомпозиции  $p_D$  размерности  $N_h$ ;  $\Psi_2 \subseteq p_D \times \{S_1, S_2, S_3, S_4\}$ ,  $\Psi_3 \subseteq P^h \times \{S_1, S_2, S_3, S_4\}$  – соответствия, определяющие стратификацию неоднородной задачи диагностики.

По аналогии с (2.3) для неоднородной проблемной среды, свойства однородной проблемной среды запишем как:

$$E^h = \langle \langle S_j, L, \Psi_1 \rangle^{E^{Lh}}, p_z^h, P^h \rangle, \quad (2.4)$$

где  $S_j$  – страта (2.2),  $\Psi_1 \subseteq L \times S_j | j = 1, 2, 3$ ,  $z$  – элемент множества кодов подзадач из декомпозиции неоднородной задачи диагностики,  $E^{Lh}$  – однородная предметная область.

Применение модели консилиума ((2.1)–(2.4)) для поддержки принятия неоднородных диагностических решений в медицине предоставит

стратифицированное восприятие объекта диагностики с позиций различных экспертов, влекущее целостное восприятие организма человека при диагностике.

## **2.2. Идентификация и редукция неоднородной задачи диагностики**

Идентификация – первый этап проблемно-структурной методологии (рис. 1.4). Согласно (1.1) были определены цель, исходные данные для решения неоднородной задачи диагностики (на примере артериальной гипертензии), её идентификатор и спецификатор.

Цель: диагноз АГ (состоит из 100 элементов) – дифференциальное заключение о состоянии объекта диагностики, пациента. Структура диагноза: <Степень АГ><Стадия ГБ><<Риск сердечно-сосудистых заболеваний>><Факторы риска><Поражение органов-мишеней><Ассоциативные клинические состояния><Метаболический синдром и Сахарный диабет>><Вторичная АГ>.

Исходные данные: множество показателей состояния здоровья пациента и их значения. Исследование концептуальной модели на рис. 1.1 (на примере диагностики АГ) [8] показало, что пространство входных параметров имеет высокую размерность – порядка 800 значений показателей состояния здоровья пациента.

Идентификатор  $p_D$  ( $ID$  – «Задача диагностики артериальной гипертензии у пациента врачом»). Фазы задачи: фаза учета (фиксации текущего состояния здоровья пациента), контроля степени отклонения состояния пациента от нормы и анализа. Класс переменных – детерминированные, лингвистические и лингвистические нечеткие. Класс задачи – диагностика. Страта – ситуационная, потоковая, параметрическая и страта принятия решения (2.2).

Профессиональный язык – тринадцати медицинских работников (кардиолога, психолога, невролога, нефролога, уролога, онколога, педиатра, акушера-гинеколога, сосудистого хирурга, врача функциональной диагностики, окулиста, терапевта, эндокринолога).

Неоднородная задача диагностики артериальной гипертензии – задача, включающая функциональные подзадачи, а также технологические подзадачи при

необходимости (разд. 1.4), повышающие эффективность обработки симптоматической информации о пациенте. Однородные подзадачи НЗДАГ с различными характеристическими свойствами требуют различные методы системного анализа, искусственного интеллекта и инженерии знаний. Цель этапов 1–5 проблемно-структурной методологии (рис. 1.4, разд. 2.2–2.4) – подтверждение функциональной (разд. 2.3) и инструментальной (разд. 2.4) неоднородности задачи диагностики артериальной гипертензии и, соответственно, релевантности применения междисциплинарных инструментариев для её решения.

В системном анализе в зависимости от особенностей задач применяются соответствующие методы редукции. Для задач анализа сложных механических, биологических и экономических систем, задач о собственных значениях, задач регулирования, оптимизации и анализа устойчивости по частям методом расчленений для систем с большим числом переменных используется диакоптика Крона [115]. Для краевых задач областей сложной геометрической формы, для построения быстросходящегося итерационного процесса решения систем большой размерности, для распараллеливания вычислений – методы декомпозиции области [116]. Методы разделения графов [117] применяются в методе конечных элементов, задачах линейного программирования, проектирования сверхбольших интегральных схем, транспортных задачах и задачах планирования. Для задач программирования для многопроцессорных вычислительных систем используются методы декомпозиции данных [118], функциональная [118] и программная декомпозиция [119]. Особую роль для решения неоднородных задач играют методы редукции, основанные на знаниях [24].

На примере исследования неоднородной задачи диагностики артериальной гипертензии применялась смешанная редукция [24] (второй этап ПС-методологии, рис. 1.4), основанная на рекомендациях комитета экспертов ВНОК [75] и результатах извлечения экспертных знаний. Существенное нововведение в сравнении с [24] состоит в том, что в редукции заданы приоритеты на множестве методов редукции, основанной на знаниях: фазовая редукция имеет первый приоритет, что позволяет отделить задачи пассивных фаз (учет, контроль), решаемых традиционными технологиями информатики, от задач активных фаз; второй приоритет имеет стратификация или информационно-управляющая

редукция (отражают системный и информационный подходы); третий приоритет присвоен методам редукции формализованных или трудноформализуемых задач. Такая приоритетная эвристика гибко сочетает резкое сокращение размерности области допустимых решений на первых, менее формализованных этапах анализа НЗД, с последующими формально-логическими приемами анализа. Декомпозиция неоднородной задачи диагностики АГ [8] приведена на рис. 2.1.



Обозначения:

$\longrightarrow$  – отношение «целое–часть» ( $R_2$ );  $\cdots\longrightarrow$  – отношения ( $R_3$ ) на множестве функциональных диагностических подзадач;  $\circledast$  – мощность множеств симптомов;  $\longleftarrow\longrightarrow$  – отношения на множествах технологических и функциональных подзадач ( $R_3$ );  $\bigcirc$  – области диагностических подзадач соответствующей болезни/множества болезней и обработки электрокардиограммы;  $\dashrightarrow$  – области технологических элементов для построения информативного набора симптомов на входах функциональных элементов

Рисунок 2.1 – Декомпозиция неоднородной задачи диагностики артериальной гипертензии

Технологические диагностические подзадачи выделены по результатам бесед с экспертом для сокращения объема входной информации функциональных диагностических подзадач (множества симптомов). Диагностические подзадачи представляются переменными одного класса: детерминированными, лингвистическими или лингвистическими нечеткими, а решаются одним методом из классов базисных методов [25, 26].

На декомпозицию наложены некоторые (существенные) ограничения:

1. Исключены пациенты младше 18 лет (функция педиатра) и беременные (функция акушера-гинеколога);
2. Нет автоматического распознавания, расшифровки рентгенограмм, эхокардиограмм и снимков ультразвуковой диагностики (функция врача функциональной диагностики);
3. По ЭКГ распознаются часть патологий (функция кардиолога) – шесть (разд. 3.1.1);
4. Не диагностируются гипертоническая ретинопатия (функция окулиста);
5. Не предусмотрено назначение лечения и, соответственно, анализ динамики изменения значений показателей состояния здоровья пациента;
6. Не диагностируется систолическая АГ и ряд вторичных артериальных гипертензий (функция кардиолога, психолога, невролога, нефролога, уролога, онколога);
7. Отсутствует определение типа и/или функционального класса некоторых критериев сердечно-сосудистого риска и сопутствующих заболеваний.

Ниже (2.5) представлена атомарная формула из схемы (1.1), причем далее по тексту  $p_D$  – концептуальная схема неоднородной задачи диагностики артериальной гипертензии,  $p_1$  – «задача диагностики АГ», а  $P^h$  – множество однородных подзадач НЗДАГ:

$$R_2(p_1, P^h) = \left\{ (p_1, p_{PЭКГ}^h), (p_1, p_{ССС}^h), (p_1, p_{СМАД}^h), (p_1, p_{ДАГ_1}^h), \dots, (p_1, p_{ДАГ_i}^h), \dots, (p_1, p_{ДАГ_9}^h), (p_1, p_{ППС_1}^h), \dots, (p_1, p_{ППС_i}^h), \dots, (p_1, p_{ППС_9}^h) \right\}, \quad (2.5)$$

где  $p_{PЭКГ}^h$  – схема подзадачи «Распознавание и интерпретация электрокардиограммы» ( $PЭКГ$ );  $p_{ССС}^h$  – схема подзадачи «Оценка степени и стадии АГ, степени риска сердечно-сосудистых заболеваний» ( $ССС$ );  $p_{СМАД}^h$  – схема подзадачи «Анализ суточного мониторирования артериального давления» ( $СМАД$ );  $p_{ДАГ_i}^h$  – схема  $i$ -ой подзадачи из подмножества в девять функциональных подзадач «Диагностика критериев оценки сердечно-сосудистого риска и вторичной

артериальной гипертензии у пациента» ( $ДАГ_{1-9}$ );  $p_{ППС_i}^h$  – схема  $i$ -ой подзадачи из подмножества в девять технологических подзадач «Построение информативного набора признаков при диагностике заболеваний из областей 1–9» ( $ППС_{1-9}$ ) при  $i \in \{1;9\}$ .

Таким образом, выделено 12 диагностических и 9 технологических подзадач. Подзадачи сгруппированы в девять областей однородных параметров (рис. 2.1): поражений органов-мишеней (индекс 1), факторов риска (2), цереброваскулярных болезней (3), метаболического синдрома и сахарного диабета (4), заболеваний периферических артерий (5), ишемической болезни сердца (6), эндокринной АГ (7), паренхиматозной нефропатии (8) и реноваскулярной АГ (9) соответственно.

Специфицируем однородные диагностические подзадачи НЗДАГ (третий этап ПС-методологии, рис. 1.4) [8]:

$$\begin{aligned}
 p_z^h = & R^{st} (p_{1z}^h, G_z^h) \wedge R^{pr} (p_{1z}^h, D_z^h) \wedge R^{met} (p_{1z}^h, MET_z^h) \wedge \\
 & \wedge R^{pr} (p_{1z}^h, f) \wedge R^{pr} (p_{1z}^h, kp) \wedge R^{pr} (p_{1z}^h, kt) \wedge \\
 & \wedge R_2 (p_D, p_{1z}^h) \wedge R_3 (P^h, P^h) \wedge R^{pr} (p_{1z}^h, S_z^h)
 \end{aligned} \tag{2.6}$$

$$\forall z, z \in \{PЭКГ, СМАД, ППС_1, \dots, ППС_9, ДАГ_1, \dots, ДАГ_9, ССС\},$$

где  $p_z^h$  – концептуальная модель  $z$ -ой однородной подзадачи из декомпозиции неоднородной задачи диагностики артериальной гипертензии;  $p_{1z}^h$  – « $z$ -ая однородная подзадача»;  $G_z^h, D_z^h$  – цель и исходные данные  $z$ -ой подзадачи соответственно;  $MET_z^h$  – метод, модель, алгоритм, программа  $z$ -ой подзадачи;  $f, kp, kt$  – фаза подзадачи, класс переменных и класс подзадачи соответственно;  $R_2, R_3$  – отношение включения, заданное на множестве пар неоднородная задача– $z$ -ая подзадача, и отношение декомпозиции, заданное на множестве подзадач  $P^h$ , соответственно;  $S_z^h$  – спецификатор подзадач НЗДАГ включает: 1) идентификаторы функциональных и технологических подзадач из декомпозиции  $P^h$  (рис. 2.1) неоднородной задачи диагностики артериальной гипертензии; 2) свойства однородной проблемной среды (2.4) – в соответствии со

стратифицированной (многоуровневой) моделью консилиума специалистов ((2.1)–(2.4)) определяют страту  $S_k$  (параметрическая, потоковая или ситуационная страта (2.2)), на которой решается диагностическая подзадача и требуемый для её решения профессиональный язык экспертов  $L$ .

Спецификация диагностической подзадачи  $PЭКГ$ :  $G_{PЭКГ}^h$  – диагностирование патологических состояний на электрокардиограмме, установление соответствия состояния пациента норме;  $D_{PЭКГ}^h$  – образ электрокардиосигнала пациента;  $МЕТ_{PЭКГ}^h$  – метод (разд. 2.4), модель и программа (3.1.1) для решения подзадачи  $PЭКГ$ ; три фазы задачи (учет, контроль и анализ), класс переменных – детерминированные, класс задачи – диагностика. Страта – ситуационная. Профессиональный язык – медицинских работников (кардиология).

$$R_{3 PЭКГ} = \left\{ \left( P_{PЭКГ}^h, P_{ДАГ_6}^h \right), \left( P_{PЭКГ}^h, P_{ДАГ_1}^h \right), \left( P_{PЭКГ}^h, P_{ДАГ_3}^h \right) \right\}.$$

Спецификация диагностической подзадачи  $СМАД$ :  $G_{СМАД}^h$  – определение нормальных показателей артериального давления для обследуемого пациента и определение степени отклонения данных суточного мониторинга артериального давления пациента от нормы для последующей оценки степени АГ;  $D_{СМАД}^h$  – пол, возраст и данные суточного мониторинга АД пациента;  $МЕТ_{СМАД}^h$  – метод (разд. 2.4), модель и программа (разд. 3.1.1) для решения подзадачи  $СМАД$ ; три фазы задачи (учет, контроль и анализ), класс переменных – детерминированные, класс задачи – диагностика. Страта – ситуационная. Профессиональный язык – медицинских работников (кардиология).

$$R_{3 СМАД} = \left\{ \left( P_{СМАД}^h, P_{ССС}^h \right) \right\}.$$

Спецификация диагностических подзадач  $ППС_{1-9}$ :  $G_{ППС_{1-9}}^h$  – оптимизация набора показателей для диагностики заболеваний и рисков АГ;  $D_{ППС_{1-9}}^h$  – множество  $S_p = \{ S_{p_i} \mid i = \overline{1,9} \}$  подмножеств показателей, значения которых определяют заболевание;  $МЕТ_{ППС_{1-9}}^h$  – метод (разд. 2.4), модель и программа (разд. 3.3) для решения подзадачи  $ППС_{1-9}$ ; фаза задачи: анализ, класс переменных:



детерминированные; класс задачи: оптимизация. Страта – параметрическая. Профессиональный язык – специалиста по информационным технологиям.

$$R_3 \text{ ППС}_{1-9} = \left\{ \left( P_{\text{ППС}_1}^h, P_{\text{ДАГ}_1}^h \right), \dots, \left( P_{\text{ППС}_9}^h, P_{\text{ДАГ}_9}^h \right), \left( P_{\text{ДАГ}_1}^h, P_{\text{ППС}_1}^h \right), \dots, \left( P_{\text{ДАГ}_9}^h, P_{\text{ППС}_9}^h \right) \right\}.$$

Спецификация диагностических подзадач  $\text{ДАГ}_{1-9}$ :  $G_{\text{ДАГ}_{1-9}}^h$  – выявление факторов риска АГ, поражений органов-мишеней, ассоциативных клинических состояний, вторичной эндокринной и почечной АГ, либо оценка состояния пациента как нормы;  $D_{\text{ДАГ}_{1-9}}^h$  – множество симптомов из областей 1–9;  $\text{MET}_{\text{ДАГ}_{1-9}}^h$  – метод (разд. 2.4), модель и программа (разд. 3.1.2) для решения подзадач  $\text{ДАГ}_{1-9}$ ; три фазы задачи (учет, контроль и анализ), класс переменных – лингвистические нечеткие, класс задачи – диагностика. Страта – потоковая. Профессиональный язык – медицинских работников (кардиология, эндокринология, терапия, нефрология, неврология, сосудистая хирургия).  $R_3 \text{ ДАГ}_{1-9} = \left\{ \left( P_{\text{ДАГ}_2}^h, P_{\text{ДАГ}_7}^h \right), \left( P_{\text{ДАГ}_1}^h, P_{\text{ДАГ}_3}^h \right), \left( P_{\text{ДАГ}_8}^h, P_{\text{ДАГ}_1}^h \right), \left( P_{\text{ДАГ}_1}^h, P_{\text{ССС}}^h \right), \dots, \left( P_{\text{ДАГ}_9}^h, P_{\text{ССС}}^h \right), \left( P_{\text{ДАГ}_6}^h, P_{\text{ДАГ}_5}^h \right), \left( P_{\text{ДАГ}_6}^h, P_{\text{ДАГ}_7}^h \right), \left( P_{\text{ДАГ}_6}^h, P_{\text{ДАГ}_3}^h \right), \left( P_{\text{ДАГ}_6}^h, P_{\text{ДАГ}_1}^h \right), \left( P_{\text{ДАГ}_3}^h, P_{\text{ДАГ}_7}^h \right), \left( P_{\text{ДАГ}_4}^h, P_{\text{ДАГ}_7}^h \right), \left( P_{\text{ДАГ}_4}^h, P_{\text{ДАГ}_8}^h \right), \left( P_{\text{ДАГ}_2}^h, P_{\text{ДАГ}_4}^h \right) \right\} \cup R_3 \text{ РЭКГ} \cup R_3 \text{ ППС}_{1-9}.$

Спецификация диагностической подзадачи  $\text{ССС}$ :  $G_{\text{ССС}}^h$  – оценка степени и стадии артериальной гипертензии, риска сердечно-сосудистых заболеваний;  $D_{\text{ССС}}^h$  – отклонение от нормы  $\Delta \text{СМАД} \in \{0; 100\}$ ; множество поддиагнозов от  $\text{ДАГ}_{1-9}$  и множество  $S_{p10}$  показателей здоровья для подзадачи  $\text{ССС}$ ;  $\text{MET}_{\text{ССС}}^h$  – метод (разд. 2.4), модель и программа (разд. 3.1.1, 3.1.2) для решения подзадачи  $\text{ССС}$ ; три фазы задачи (учет, контроль и анализ), класс переменных – лингвистические, класс задачи – диагностика. Страта – потоковая. Профессиональный язык – медицинских работников (кардиология).  $R_3 \text{ ССС} = \left\{ \left( P_{\text{ДАГ}_1}^h, P_{\text{ССС}}^h \right), \dots, \left( P_{\text{ДАГ}_9}^h, P_{\text{ССС}}^h \right) \right\} \cup R_3 \text{ СМАД}.$

Тогда отношение  $R_3 (P^h, P^h)$  из (2.6) можно записать в виде (2.7):

$$\begin{aligned}
R_3 (P^h, P^h) = & \left\{ (P_{PЭКГ}^h, P_{ДАГ_6}^h), (P_{PЭКГ}^h, P_{ДАГ_1}^h), (P_{PЭКГ}^h, P_{ДАГ_3}^h), \right. \\
& (P_{СМАД}^h, P_{ССС}^h), (P_{ППС_1}^h, P_{ДАГ_1}^h), \dots, (P_{ППС_9}^h, P_{ДАГ_9}^h), \\
& (P_{ДАГ_1}^h, P_{ППС_1}^h), \dots, (P_{ДАГ_9}^h, P_{ППС_9}^h), (P_{ДАГ_2}^h, P_{ДАГ_7}^h), \\
& (P_{ДАГ_1}^h, P_{ДАГ_3}^h), (P_{ДАГ_8}^h, P_{ДАГ_1}^h), (P_{ДАГ_1}^h, P_{ССС}^h), \dots, (P_{ДАГ_9}^h, P_{ССС}^h), \\
& (P_{ДАГ_6}^h, P_{ДАГ_5}^h), (P_{ДАГ_6}^h, P_{ДАГ_7}^h), (P_{ДАГ_6}^h, P_{ДАГ_3}^h), (P_{ДАГ_6}^h, P_{ДАГ_1}^h), \\
& \left. (P_{ДАГ_3}^h, P_{ДАГ_7}^h), (P_{ДАГ_4}^h, P_{ДАГ_7}^h), (P_{ДАГ_4}^h, P_{ДАГ_8}^h), (P_{ДАГ_2}^h, P_{ДАГ_4}^h) \right\}.
\end{aligned} \tag{2.7}$$

Таким образом, построена декомпозиция  $P^h$ , включающая 12 однородных функциональных и 9 технологических диагностических подзадач. В  $P^h$  два подмножества подзадач ( $ППС_{1-9}$  и  $ДАГ_{1-9}$ ) – однотипные с детерминированными и лингвистическими нечеткими переменными соответственно. Подзадачи неоднородной задачи диагностики АГ специфицированы в терминах концептуальных моделей [26] и языка исчисления предикатов первого порядка. Это позволяет перейти к следующему этапу системного анализа НЗД.

### 2.3. Функциональная неоднородность задачи диагностики

Суть метода определения функциональной неоднородности НЗД состоит в том, что на этапе «Идентификации неоднородной задачи диагностики» (разд. 1.4) ПС-методологии (рис. 1.4) определяются классы переменных, используемых в методах и моделях рассуждений из состава гетерогенного модельного поля (разд. 3.1), разрабатываемого на шестом этапе ПС-методологии.

На третьем этапе ПС-методологии «Спецификации диагностических подзадач» (разд. 2.2), в ходе определения цели, исходных данных, идентификатора и схемы каждой подзадачи из декомпозиции неоднородной задачи диагностики (рис. 2.1), разработчик перестраивает свою ментальную модель понимания диагностических подзадач, закрепляя определенные на этапе «Идентификации НЗД» классы переменных, и извлекает знания о типах отношений, заданных на множествах переменных. (рис. 2.3). Типы отношений определялись из (2.7),

описывающей отношения декомпозиции на множестве однородных подзадач неоднородной задачи диагностики (на примере АГ)  $R_3(P^h, P^h)$ .

В ходе исследования функциональной неоднородности задачи диагностики разнообразие и терминологическая неоднородность (рис. 1.1, 1.3) сведены к исследованию [24] переменных и отношений.

В табл. 2.1. представлены основные классы переменных [26].

Таблица 2.1 – Классы переменных в моделях гетерогенного модельного поля диагностической задачи

Наименование класса переменных (однородные отношения)	Методы научных дисциплин
1	2
Д – Детерминированные переменные ( $R_{D-D}^O$ )	Классическая математика Поиск экстремумов функций Вариационное исчисление Математическое программирование
С – Стохастические переменные ( $R_{C-C}^O$ )	Теория вероятностей Математическая статистика Теория массового обслуживания Статистические испытания
Л – Логические переменные ( $R_{L-L}^O$ )	Математическая логика Дискретная математика
ЛН – Лингвистические нечеткие переменные ( $R_{LN-LN}^O$ )	Теория нечетких множеств Нечеткая логика
ЛЧ – Лингвистические или символьные переменные ( $R_{LC-LC}^O$ )	Теория формальных языков и автоматов Синтаксический анализ Сопоставление с образцом

На рис. 2.2 в виде полного ориентированного графа  $G = \langle VT, RT \rangle$  отображено разнообразие типов отношений, связывающих переменные из табл. 2.1.

Вершины графа  $G$  –  $VT$  – классы переменных из табл. 2.1, а ориентированные ребра  $RT$  – типы отношений на классах переменных.

Тип отношения (наименование ребра на рис. 2.2) определяется классами переменных, на которых оно задано. Пусть  $k1, k2 \in \{D, C, L, LN, LC, NN\}$ .

Отношения переменных одного класса –  $k1 = k2$  – *однородные* (на рис. 2.2 –  $R_{k1-k2}^O$ , представлены петлями на графе  $G$ ), в противном случае –  $k1 \neq k2$  – *неоднородные* (на рис. 2.2 –  $R_{k1-k2}^P$ ).

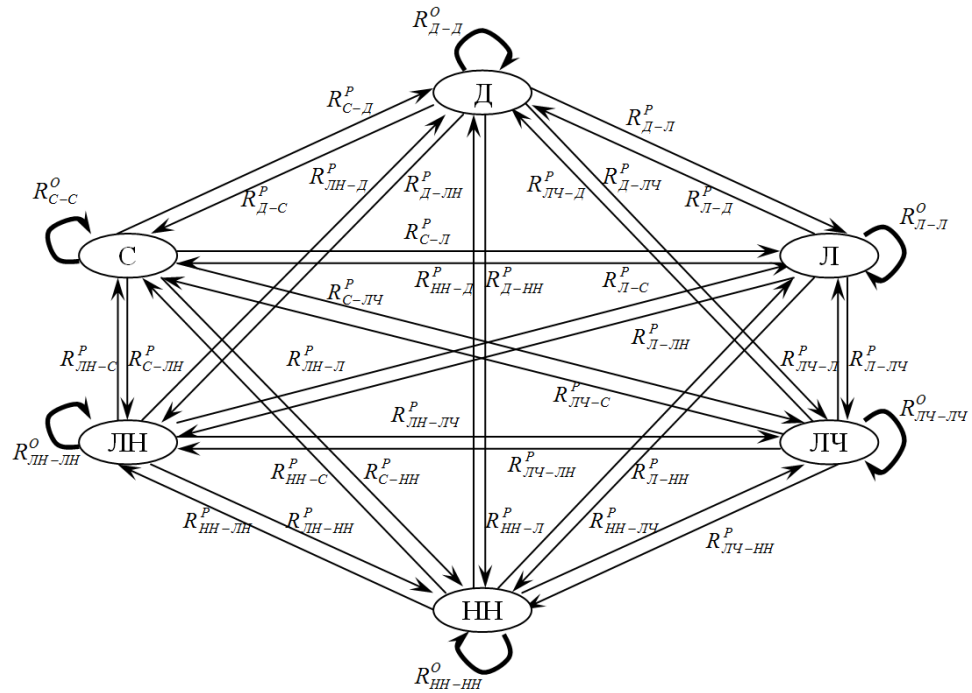


Рисунок 2.2 – Полный граф  $G$  классов переменных и типов отношений в диагностической задаче

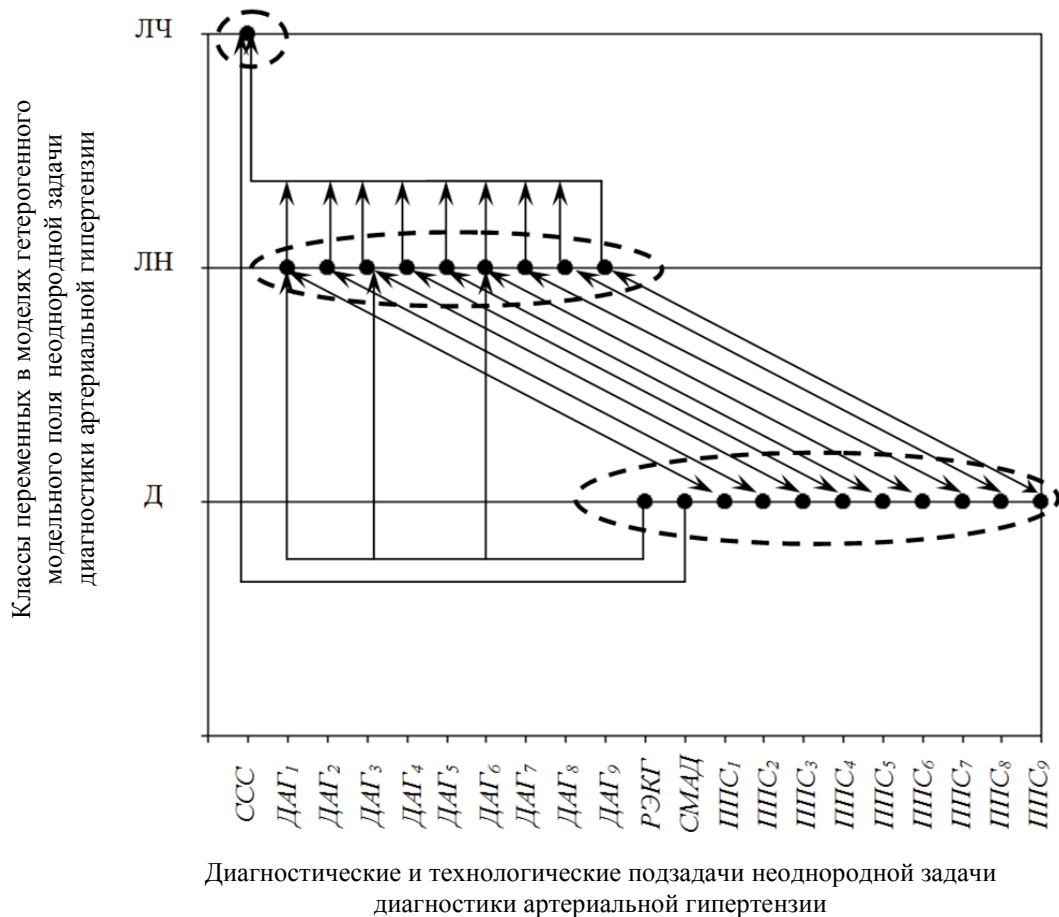
Тогда в соответствии с рис. 2.2, табл. 2.1 и схемами концептуальных моделей (2.6) однородных диагностических подзадач, специфицированных в разделе 2.2, в декомпозиции выявлено три области функциональной неоднородности:

$$P^h = \{p_1^h, p_2^h, p_3^h\}, \quad (2.8)$$

где  $p_1^h = \{p_{PЭКГ}^h, p_{СМАД}^h, p_{ППС_1}^h, \dots, p_{ППС_9}^h\}$ ;  $p_2^h = \{p_{ДАГ_1}^h, \dots, p_{ДАГ_9}^h\}$ ;  $p_3^h = \{p_{ССС}^h\}$

такие, что выполняется условие (1.4) – классы переменных подзадач из разных областей функциональной неоднородности декомпозиции задачи диагностики артериальной гипертензии различны, а внутри области – все подзадачи оперируют переменными одного и того же класса – детерминированные, лингвистические или лингвистические нечеткие переменные (рис. 2.3).

Из рис. 2.3 видно, что для решения неоднородной задачи диагностики, в частности АГ, значимы три класса переменных: детерминированные, лингвистические или символные переменные и лингвистические нечеткие и четыре типа отношений декомпозиции: Д–ЛН, ЛН–Д, ЛН–ЛЧ и Д–ЛЧ, что подтверждает выполнение условия функциональной неоднородности (1.4).



Обозначения:

ЛЧ – лингвистические или символьные переменные; ЛН – лингвистические нечеткие переменные; Д – детерминированные переменные;  $\rightarrow$  – неоднородные отношения декомпозиции;  $\dashrightarrow$  – области функциональной неоднородности; ССС – диагностическая подзадача «Оценка степени и стадии АГ, степени риска сердечно-сосудистых заболеваний»; ДАГ<sub>1</sub>, ..., ДАГ<sub>9</sub> – диагностические подзадачи из множества «Диагностика критериев оценки сердечно-сосудистого риска и вторичной артериальной гипертензии у пациента»; РЭКГ – диагностическая подзадача «Распознавание и интерпретация электрокардиограммы», СМАД – диагностическая подзадача «Анализ суточного мониторинга артериального давления», ППС<sub>1</sub>, ..., ППС<sub>9</sub> – технологические подзадачи из множества «Построение информативного набора признаков при диагностике заболеваний из областей 1–9»

Рисунок 2.3 – Отношения декомпозиции областей функциональной  
неоднородности задачи диагностики артериальной гипертензии

Таким образом, по результатам третьего этапа ПС-методологии «Спецификации диагностических подзадач» применительно к задаче диагностики артериальной гипертензии были определены классы переменных (рис. 2.3) диагностических подзадач (рис. 2.1), типы отношений (рис. 2.3), возникающих между подзадачами при решении задачи диагностики АГ, и подтверждено условие (1.4) наличия функциональной неоднородности у НЗДАГ, требующей междисциплинарных инструментариев решения.

## 2.4. Методы автоматизированного решения диагностических подзадач и инструментальная неоднородность задачи диагностики

Согласно определению 4 (разд. 1.2) инструментальная неоднородность специфицируется после четвертого этапа ПС-методологии (рис. 1.4) «Выбора методов автоматизированного решения диагностических подзадач». Здесь выявляется функциональная избыточность инструментариев решения – применение для решения однородных задач различных методов из классов базисных методов [26]. Спецификация подзадач НЗДАГ (разд. 2.2) и результаты проверки функциональной неоднородности (рис. 2.3) позволили обосновать выбор методов решения ( $MET_z^h$ ) диагностических подзадач (табл. 2.2). При этом учитывались общие, качественные характеристики методов, чтобы обеспечить требуемую функциональность ГиИС в целом, и не рассматривалась фактическая эффективность решения диагностических подзадач, т.к. ГиИС еще не построена и какие-либо экспериментальные данные об эффективности методов решения подзадач *РЭКГ*, *СМАД*, *ППС*<sub>1-9</sub>, *ДАГ*<sub>1-9</sub> и *ССС* (разд. 2.2) отсутствуют.

Выбор методов автоматизированного решения диагностических подзадач и анализ инструментальной неоднородности задачи диагностики АГ выполнен по трехквadrантной матричной информационной модели (табл. 2.2), содержащей знания «метод–характеристика», «задача–характеристика» и «задача–метод». Причем выделены дополнительные и определяющие выбор характеристики методов, а подзадача относится не к конкретному инструментарию, а к их классу, что упрощает выбор метода внутри класса.

Однородной подзадаче из декомпозиции НЗД сопоставлен один или несколько методов

$$\left\{ met_{li} \mid met_{li} \in MET = \bigcup_{q=\{Lg, Li, Ep\}} MET_q, i = \overline{1, N_{met}}, l - \text{класс метода} \right\} \text{ с учетом их}$$

плюсов и минусов. Здесь класс метода  $l \in \{n, e, f, g\}$ : *n* – искусственные нейронные сети, *e* – экспертные системы, *f* – нечеткие системы, *g* – генетические алгоритмы.

Таблица 2.2 – Сравнительный анализ и результаты выбора методов моделирования

Классы методов				Характеристики	Признаки	Подзадачи				
ИНС	ГА	ЭС	НС			РЭКГ	СМАД	ППС <sub>1-9</sub>	ДАГ <sub>1-9</sub>	ССС
0	0	1	1	Представление знаний	3		++		++	++
0	1	0	0		2			++		
1	0	0	0		6					
1	0	0	0	Прозрачность	4					
0	1	0	0		5					
0	0	1	1		7		+		+	+
1	0	0	0	Вычисления	8					
0	1	0	0		9					
0	0	1	0		10		++			++
0	0	0	1		11				++	
1	0	0	0	Обучение (наличие обучающих последовательностей)	7	++	++			
0	1	1	1		0			++		
1	1	0	0	Аргументация	0					
0	0	1	1		7		++		+	++
1	1	0	0	Интерактивность	5					
0	0	1	1		7		+		+	+
0	0	1	1	Работа с шумом, неопределенностью	5					
1	1	0	0		7	+	+			
1	0	0	0	Реакция	12	++	++			
0	0	1	0		14					
0	0	0	1		15				+	
0	1	0	0		16					
1	0	0	0	Производительность	12	++	++			
0	1	0	0		13					
0	0	1	0		14					
0	0	0	1		15				+	
1	1	0	0	Трудозатраты	13	+	+	++		
0	0	1	0		17					
0	0	0	1		18				+	
				НС	(0)	(0)	(1)	(8) – Да	(4) – Да	
				ЭС	(0)	(5) – Да	(1)	(4)	(5) – Да	
				ГА	(2)	(2)	(3) – Да	(0)	(0)	
				ИНС	(6) – Да	(6) – Да	(1)	(0)	(0)	
				<b>Классы методов</b>	<b>Оценки</b>					

Обозначения:

+ – дополнительный плюс класса методов; ++ – определяющий признак при выборе; признаки и оценки: 2 – структурированные двоичные коды, 3 – правила «условие – действие», 4 – не прозрачны для человека, 5 – плохо, 6 – черный ящик, 7 – прекрасно, 8 – нейровычисления, 9 – поиск из всех точек пространства одновременно, 10 – точные рассуждения, 11 – приближенные рассуждения, 12 – высокая, 13 – низкая, 14 – ниже высокой, 15 – очень высокая, 16 – медленная, 17 – ближе к высоким, 18 – очень низкие, 1 – есть, 0 – нет; (6) – количество характеристик метода, соответствующих дополнительным и определяющим признакам для решения подзадачи, Да – выбор; ЭС – методы экспертных систем, НС – методы нечетких систем, ИНС – методы искусственных нейронных сетей, ГА – методы генетических алгоритмов; ССС – диагностическая подзадача «Оценка степени и стадии АГ, степени риска сердечно-сосудистых заболеваний»; ДАГ<sub>1</sub>, ..., ДАГ<sub>9</sub> – диагностические подзадачи из подмножества «Диагностика критериев оценки сердечно-сосудистого риска и вторичной артериальной гипертензии у пациента»; РЭКГ – диагностическая подзадача «Распознавание и интерпретация электрокардиограммы», СМАД – диагностическая подзадача «Анализ суточного мониторирования артериального давления», ППС<sub>1</sub>, ..., ППС<sub>9</sub> – технологические подзадачи из подмножества «Построение информативного набора признаков при диагностике заболеваний из областей 1–9»

Установление соответствия «подзадачи–методы» сведено к задаче отнесения подзадачи  $p_z^h$  в класс задач, решаемых подмножеством инструментариев  $MET_q$ , работающих с  $Lg, Li, Ep$ -знаниями (логические, лингвистические и опыт) [25].

Один из результатов четвертого этапа ПС-методологии – альтернативность (функциональная избыточность) инструментариев решения на множестве функциональных и технологических подзадач НЗДАГ: подзадаче  $p_{СМАД}^h$  «Анализ суточного мониторирования артериального давления» было сопоставлено множество методов  $\{met_n, met_e\}$ , а подзадаче  $p_{ССС}^h$  «Оценка степени и стадии АГ, степени риска сердечно-сосудистых заболеваний» – множество методов  $\{met_f, met_e\}$ , и для их решения необходимо разрабатывать по две модели –  $\{mod_n_{СМАД}, mod_e_{СМАД}\}$  и  $\{mod_f_{ССС}, mod_e_{ССС}\}$  соответственно. Каждой из оставшихся девятнадцати подзадач было сопоставлено по одноэлементному множеству методов решения: каждой подзадаче из подмножества  $p_{ППС_{1-9}}^h$  «Построение информативного набора признаков при диагностике заболеваний из областей 1–9» –  $\{met_g\}$ , каждой подзадаче из подмножества  $p_{ДАГ_{1-9}}^h$  «Диагностика критериев оценки сердечно-сосудистого риска и вторичной артериальной гипертензии у пациента» –  $\{met_f\}$  и подзадаче  $p_{РЭКГ}^h$  «Распознавание и интерпретация электрокардиограммы» –  $\{met_n\}$ .

По результатам проверки функциональной неоднородности (разд. 2.3, рис. 2.3) определено число классов переменных и число неоднородных отношений декомпозиции задачи диагностики АГ.

Решение относительно инструментальной неоднородности принималось в том случае, если число классов переменных (табл. 2.1) не меньше двух, есть неоднородные отношения и хотя бы для одной диагностической подзадачи выбрано более одного релевантного метода решения. Согласно результатам идентификации НЗДАГ (разд. 2.2), её редукции (рис. 2.1), позволившей специфицировать отношения включения (2.5) однородных диагностических подзадач и отношения декомпозиции (2.7), а также схемам концептуальных моделей диагностических подзадач (2.6), получено: эксперты при решении



неоднородной задачи диагностики АГ используют три класса переменных (1.1) – детерминированные, лингвистические, лингвистические нечеткие, и четыре типа неоднородных отношений между ними в соответствии с множеством отношений декомпозиции  $R_3 = R_{Д-ЛН}^P, R_{ЛН-Д}^P, R_{Л-ЛН}^P, R_{ЛН-ЛЧ}^P$  (разд. 2.3): «детерминированные–лингвистические нечеткие», «лингвистические нечеткие–детерминированные», «лингвистические нечеткие–лингвистические» и «детерминированные–лингвистические».

Можно сделать вывод, что рассуждения экспертов следует моделировать различными базисными методами ГиИС [25], в частности адаптивными и символьными (инструментальная неоднородность). При этом число классов переменных больше двух. Следовательно, задача диагностики артериальной гипертензии относится к неоднородным, релевантна модели (1.1) и требует междисциплинарных инструментариев решения, гибридизации и продолжения работ в рамках ПС-методологии.

Таким образом, в результате четвертого этапа ПС-методологии выбраны базисные методы для каждой диагностической подзадачи. Наличие функциональной и инструментальной неоднородности подтверждает актуальность применения методологии ГиИС.

## 2.5. Выводы

Получена стратифицированная модель выработки решения коллективом экспертов в неоднородной задаче диагностики. Модель консилиума ((2.1)–(2.4)) для поддержки принятия диагностических решений в медицине предоставляет восприятие объекта диагностики с позиций различных экспертов, влекущее целостное восприятие организма человека. Модель используется в разделе 2.2 при редукции неоднородной задачи диагностики методом, основанным на знаниях, а также при спецификации диагностических подзадач.

В результате идентификации НЗД (на примере артериальной гипертензии) установлено, что для формирования полного дифференциального диагноза, в частности АГ, в клинической практике требуется до тринадцати врачей-экспертов, носителей знаний из разных разделов медицины. Они сотрудничают и дополняют

друг друга, рассматривая организм пациента с различных точек зрения, каждый относительно своего опыта и теоретической подготовки. Такой подход практикуется в стационаре больницы.

Для дальнейших исследований и разработки гетерогенного модельного поля (разд. 3.1), моделирующего рассуждения экспертов и лица, принимающего решение, из этого списка выбраны шесть врачей-экспертов разной специализации, решающие двенадцать функциональных подзадач, возникающих в 90% случаев диагностики артериальной гипертензии.

Исследована функциональная неоднородность задачи диагностики (на примере артериальной гипертензии): при решении НЗДАГ актуальны три класса переменных (детерминированные, лингвистические, лингвистические нечеткие) и четыре типа неоднородных отношений («детерминированные–лингвистические нечеткие», «лингвистические нечеткие–детерминированные», «лингвистические нечеткие–лингвистические» и «детерминированные–лингвистические»).

На четвертом этапе проблемно-структурной методологии «Выбора методов автоматизированного решения диагностических подзадач» установлена альтернативность методов решения для двух подзадач (инструментальная неоднородность): «Анализ суточного мониторинга артериального давления» и «Оценка степени и стадии АГ, степени риска сердечно-сосудистых заболеваний».

Функциональная и инструментальная неоднородность НЗДАГ подтвердили актуальность междисциплинарных инструментариев её решения (гл. 3–4) в рамках парадигмы гибридных интеллектуальных систем и их ПС-методологии.

Инструментальная неоднородность обосновала:

1. Разработку 23 моделей (разд. 3.1) для 21 диагностической подзадачи;
2. Спецификацию областей релевантности (седьмой этап ПС-методологии) – множеств значений существенных параметров ресурсов решаемой неоднородной диагностической задачи и характеристик внешней среды.

# ГЛАВА 3. СИНТЕЗ ГИБРИДНОЙ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ РЕШЕНИЯ НЕОДНОРОДНОЙ ЗАДАЧИ ДИАГНОСТИКИ

## 3.1. Моделирование разнообразия неоднородной задачи диагностики гетерогенным модельным полем

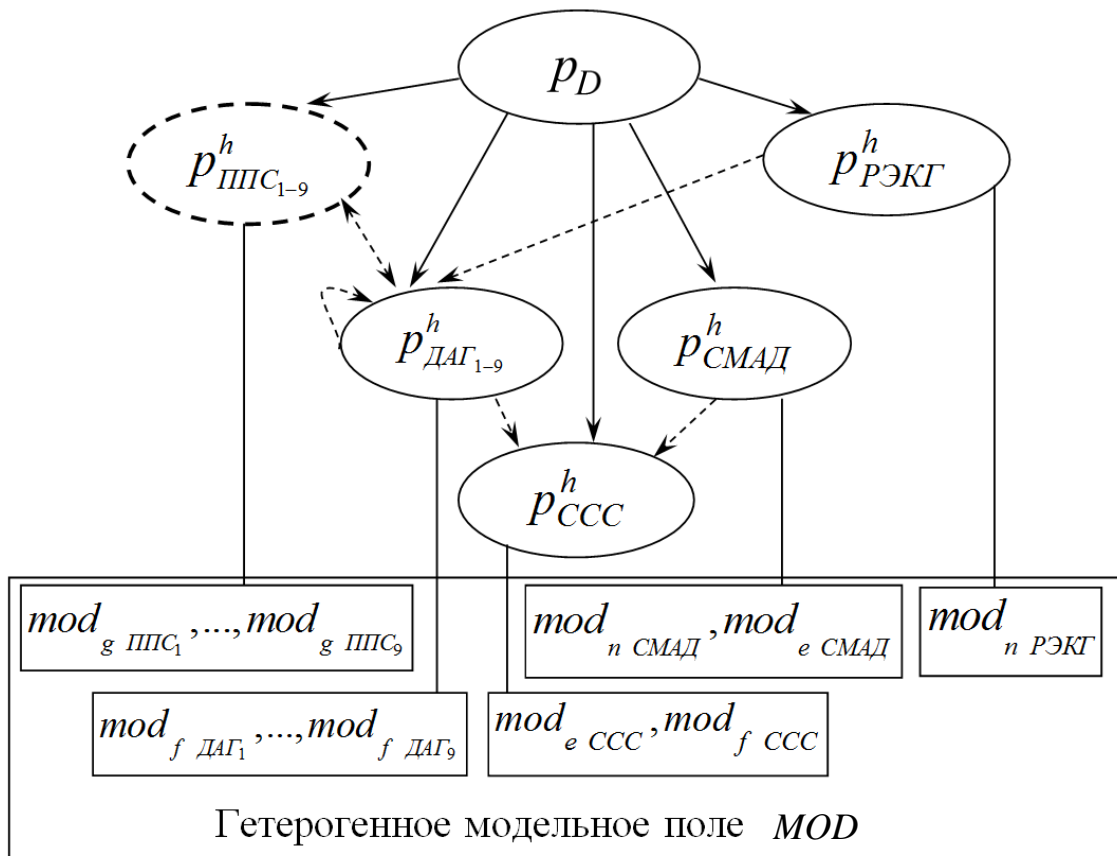
Гетерогенное модельное поле  $MOD$  (определение 7, разд. 1.4) – модель разнородных знаний экспертов со смежными специальностями, профессионально лучше, чем ЛПР, знающих отдельные аспекты задачи и владеющих данными для выработки и принятия решения. Эксперты высказывают личное, субъективное мнение, что помогает ЛПР в окончательном решении. Эксперты обладают специальными знаниями и опытом для спецификации областей релевантности (разд. 1.4, седьмой этап ПС-методологии).

ГМП – основополагающая составляющая гибридных интеллектуальных систем [25] (разд. 1.4, шестой этап ПС-методологии). Оно функционально избыточно, содержит модели релевантные подзадачам из декомпозиции  $P^h$  неоднородной задачи диагностики (рис. 2.1, разд. 2.2) и моделирует многообразие и относительность профессиональных экспертных знаний, имеющихся в распоряжении ЛПР для организации консилиума. Над таким разнообразием ЛПР делает выбор о включении экспертов в состав консилиума и обеспечивает дополнтельность ( $R_{E E}$ , рис. 1.3, разд. 1.3) и сотрудничество знаний ( $R_{LPR E}^S$ , рис. 1.3, разд. 1.3) в ходе коллективных рассуждений над задачей диагностики.

Декомпозиция неоднородной задачи диагностики артериальной гипертензии (2.8)  $P^h = \{P_{PЭКГ}^h, P_{СМАД}^h, P_{ППС_1}^h, \dots, P_{ППС_9}^h, P_{ДАГ_1}^h, \dots, P_{ДАГ_9}^h, P_{ССС}^h\}$  содержит множество функциональных и технологических диагностических подзадач. Здесь:  $P_{PЭКГ}^h$  – диагностическая подзадача «Распознавание и интерпретация электрокардиограммы»;  $P_{СМАД}^h$ , – диагностическая подзадача «Анализ суточного мониторинга артериального давления»;  $P_{ППС_{1-9}}^h$  – подмножество из девяти

технологических подзадач «Построение информативного набора признаков при диагностике заболеваний из областей 1–9» (рис. 2.1);  $P_{ДАГ_{1-9}}^h$  – подмножество из девяти функциональных подзадач «Диагностика критериев оценки сердечно-сосудистого риска и вторичной АГ у пациента»;  $P_{ССС}^h$  – диагностическая подзадача «Оценка степени и стадии АГ, степени риска сердечно-сосудистых заболеваний».

Рис 3.1 иллюстрирует соответствие подзадач из декомпозиции неоднородной задачи диагностики артериальной гипертензии моделям ГМП.



Обозначения:

○ – области диагностических функциональных подзадач неоднородной задачи диагностики артериальной гипертензии;  $\text{---}$  – области технологических подзадач неоднородной задачи диагностики артериальной гипертензии;  $\rightarrow$  – отношения включения «целое-часть»;  $\text{---}\rightarrow$  – отношения декомпозиции «подзадача *влияет на* подзадача»;  $\text{---}$  – соответствие «подзадача-модель»

Рисунок 3.1 – Соответствие подзадач из декомпозиции неоднородной задачи диагностики артериальной гипертензии моделям гетерогенного модельного поля

Множеству  $P^h$  поставлено в соответствие (рис. 3.1) множество моделей базисных методов [25, 26] решения подзадач НЗДАГ (разд. 2.4), составляющих гетерогенное модельное поле, решающих неоднородную задачу диагностики АГ:

$$MOD = \left\{ mod_n_{PЭКГ}, mod_n_{СМАД}, mod_e_{СМАД}, mod_g_{ППС_1}, \dots, mod_g_{ППС_9}, \right. \\ \left. mod_f_{ДАГ_1}, \dots, mod_f_{ДАГ_9}, mod_f_{ССС}, mod_e_{ССС} \right\},$$

где индексы  $n, e, f, g$  указывают на то, что модель разработана по методологии искусственных нейронных сетей, экспертных систем, нечетких систем или генетических алгоритмов соответственно.

Из рис. 3.1 видно, что для решения подзадачи  $p_{СМАД}^h$ , разработаны две модели: нейровычислений и рассуждений в базе знаний. Для решения подзадачи  $p_{ССС}^h$  также построены две модели: нечетких рассуждений и рассуждений в базе знаний. Для остальных диагностических подзадач, в том числе и для решения каждой из технологических подзадач, выделенных на рис. 3.1 пунктирными овалами, разработано по одной модели. Соответственно, ГМП [9] состоит из 23-х моделей (рис. 3.1) для 21-ой подзадачи из декомпозиции НЗДАГ ((2.5), рис. 2.1).

Альтернативность инструментариев применительно к решению одной и той же подзадачи (функциональная избыточность), имеющая место для подзадач  $p_{СМАД}^h$ , и  $p_{ССС}^h$ , указывает на необходимость спецификации областей релевантности на седьмом этапе ПС-методологии (рис. 1.4), которые впоследствии при синтезе метода моделирования влияют на выбор одного метода для каждой однородной подзадачи из альтернативного множества методов.

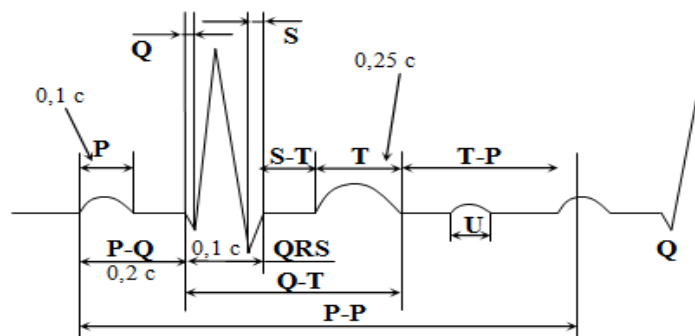
Рассмотрим моделирование процесса решения диагностических подзадач, начиная с кардиолога, который выступает и в роли ЛПР при формировании заключительного диагноза (подзадача «Оценки степени и стадии артериальной гипертензии, степени риска сердечно-сосудистых заболеваний»), и в роли единственного эксперта при решении диагностических подзадач «Распознавания и интерпретации электрокардиограммы» и «Анализа суточного мониторинга артериального давления».

При решении десяти подзадач определения состояния здоровья пациента нечеткими системами (разд. 3.1.2) знания кардиолога применяются наряду со знаниями других пяти врачей (терапевта, невролога, нефролога, сосудистого хирурга и эндокринолога). Распределение знаний экспертов по моделям представлено на рис. 3.7.

### 3.1.1. Моделирование процесса решения диагностических подзадач «Распознавания и интерпретации электрокардиограммы», «Анализа суточного мониторингирования артериального давления» и «Оценки степени и стадии артериальной гипертензии, степени риска сердечно-сосудистых заболеваний» экспертом-кардиологом

Модель искусственной нейронной сети распознавания ЭКГ (*МИНСРЭКГ*,  $mod_n_{PЭКГ}$  на рис. 3.1) [9] подзадачи «Распознавание и интерпретация электрокардиограммы» обрабатывает ЭКГ-образы, выделенные из электрокардиограммы (рис. 3.2). *МИНСРЭКГ* решает задачу классификации, т.е. отнесения ЭКГ-образа к одному из семи классов состояния здоровья пациента: норма, гипертрофия левого желудочка (патология 1), отклонение электрической оси сердца влево (патология 2), блокада левой ножки пучка Гиса (патология 3), рубцовое поражение миокарда (патология 4), признаки перегрузки левого предсердия (патология 5) – широкий зубец или двугорбый **P** (рис. 3.2), присутствие аритмии (патология 6).

Электрокардиограмма (рис. 3.2) – это графическое отображение прохождения электрического импульса по проводящей системе сердца [120], что представлено подъемами и спадами кривой линии, называемыми зубцами (**P**, **Q**, **R**, **S** и **T**).

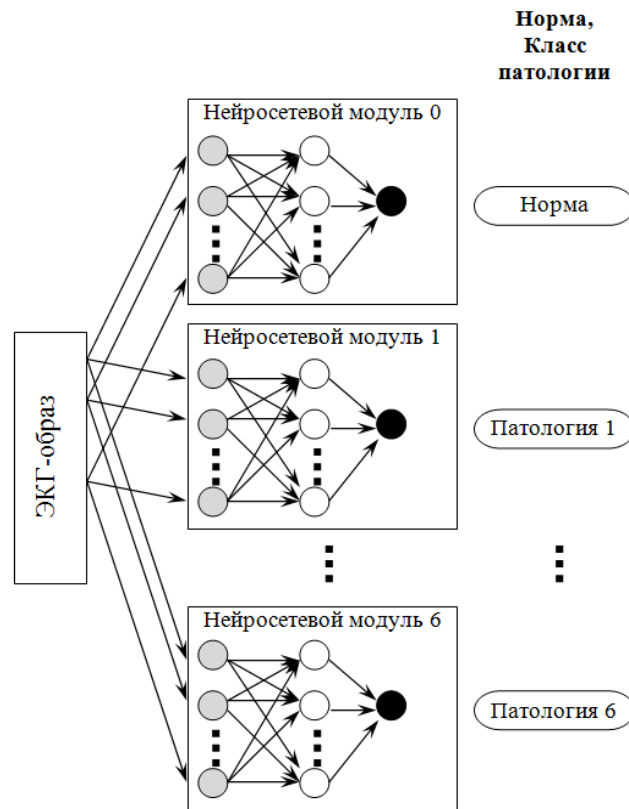


Обозначения: P, Q, R, S, T – зубцы кривой, P-Q, Q-T, P-P, T-P, S-T – интервалы

Рисунок 3.2 – PQRST комплекс электрокардиограммы человека

По горизонтали записывается время прохождения импульса по отделам сердца: ширина зубца **P** – 0,1 с, длина интервала **P-Q** – 0,2 с, продолжительность **QRS**-комплекса – 0,1 с, ширина зубца **T** – 0,25 с, длина интервала **Q-T** – 0,5 с.

Для моделирования *МИНСРЭКГ* предложена модульная структура (рис. 3.3). Каждый модуль – искусственная нейронная сеть, характеристики которой даны в табл. 3.1, распознающая норму или один из классов патологий. Модули не связаны друг с другом. Сигнал образа ЭКГ поступает на все модули одновременно. Такая структура позволяет модифицировать сеть для увеличения количества выявляемых патологий добавлением новых модулей без переобучения всей сети.



Обозначения:

○ – нейроны входного слоя, ○ – нейроны скрытого слоя, ● – нейроны выходного слоя,  
 → – передача сигнала от нейрона к нейрону

Рисунок 3.3 – Модульный вариант распознавателя патологий сердца по электрокардиограмме

Таблица 3.1 – Характеристики модели знаний кардиолога

Характеристики модулей <i>МИНСРЭКГ</i>	Значения характеристик модулей <i>МИНСРЭКГ</i> ( $mod_n^{PЭКГ}$ , рис. 3.1) подзадачи «Распознавание и интерпретация электрокардиограммы»
1	2
Топология	Сети без обратных связей для простоты реализации и гарантированной сходимости сети после обучения

Продолжение табл. 3.1

1	2
Алгоритм обучения	«Обратное распространение ошибки»
Архитектура	Многослойные сети с прямым распространением сигнала [93], так как для них характерно последовательное выделение признаков из исходного образа, что способствует эффективному распознаванию
Парадигма обучения	«Обучение с учителем»
Функции активации	Логистическая функция [93], наиболее применяемая для многослойных сетей с прямым распространением сигнала в связи с гладкостью и непрерывностью
Число нейронов входных слоев	$128 = 0,85 \times 150$ , обусловлено временным окном анализа электрокардиосигнала, 0,85 с (рис. 3.2), и частотой дискретизации ЭКГ, типичной для современных мониторов, 150 Гц
Число нейронов в скрытом слое	Подбирается, изменяясь от 1 до 51 с шагом 10
Число нейронов выходных слоев	1

Модель подзадачи «Анализ суточного мониторирования артериального давления» (*МИНССМАД*,  $mod_n \text{ СМАД}$  на рис. 3.1), решаемая экспертом-кардиологом, реализована [9] методами двух ИНС [93]: первая прогнозирует нормальные показатели суточного мониторирования систолического давления, а вторая – нормальные показатели суточного мониторирования диастолического давления. По векторам выхода нейронных сетей *МИНССМАД* вычисляется отклонение данных суточного мониторирования АД пациента от нормы. Характеристики этих ИНС даны в табл. 3.2.

Таблица 3.2 – Характеристики модели подзадачи «Анализ суточного мониторирования артериального давления»

Характеристики модулей <i>МИНССМАД</i>	Значения характеристик модулей <i>МИНССМАД</i> ( $mod_n \text{ СМАД}$ на рис. 3.1) подзадачи «Анализ СМАД»	
	первая нейронная сеть	вторая нейронная сеть
1	2	3
Топология	Сети без обратных связей	
Архитектура	Многослойные сети с прямым распространением сигнала [93]	
Алгоритм обучения	«Обратное распространение ошибки»	



Продолжение табл. 3.2

1	2	3
Парадигма обучения	«Обучение с учителем»	
Функции активации	Логистическая функция [93]	
Число нейронов входных слоев	2 – пол и возраст пациента	
Число нейронов в скрытом слое	Подбирается в процессе экспериментов с моделью, варьируясь от 1 до 10 с шагом 1	
Число нейронов выходных слоев	24	
	$Y_1, \dots, Y_{24}$ – выходы 1-ой нейросети с данными по систолическому и диастолическому давлению (нормализация до значений в интервале [0;1])	$Y_1, \dots, Y_{24}$ – выходы 2-ой нейросети с данными по диастолическому давлению (нормализация до значений в интервале [0;1])

Концептуальные модели искусственных нейронных сетей подзадач *РЭКГ* и *СМАД* обобщены в схему (3.1), построенную на базе (3.24) из [25] и расширенную свойствами (тип нормализации, архитектура ИНС и моделью нейронов ИНС) и ресурсами (входы и выходы ИНС, обучающая и тестирующая последовательности):

$$\begin{aligned}
mod_n \ Z = & R^{met} \left( p_Z^h, met_Z \right) \wedge R^{pr} \left( met_Z, pr_{kon}^k \right) \wedge R^{pr} \left( met_Z, pr_{bbox}^{sh} \right) \wedge \\
& \wedge R^{pr} \left( met_Z, pr_m^{mlang} \right) \wedge R^{pr} \left( met_Z, pr_{eq}^{mlang} \right) \wedge R^{pr} \left( met_Z, pr_{direct}^{solpr} \right) \wedge \\
& \wedge R^{pr} \left( met_Z, pr_{invdist}^{learnalg} \right) \wedge R^{pr} \left( met_Z, pr^{arch} \right) \wedge R^{res} \left( met_Z, X \right) \wedge \\
& \wedge R^{res} \left( met_Z, Y \right) \wedge R^{pr} \left( met_Z, EV \right) \wedge R^{res} \left( met_Z, res^{ed \ test} \right) \wedge \\
& \wedge R^{pr} \left( met_Z, pr_{lin}^{norm} \right) \wedge R^{mod} \left( met_Z, N \right) \quad \Big| \quad Z \in \{СМАД, РЭКГ\},
\end{aligned} \tag{3.1}$$

где  $p_Z^h$  – схема концептуальных моделей подзадачи *СМАД* или *РЭКГ*, которая определена схемой (2.6);  $met_Z$  – метод;  $pr_{kon}^k$  – классификатор метода: «коннекционистский»;  $pr_{bbox}^{sh}$  – модель-схема метода: «черный ящик»;  $pr_m^{mlang}$  – язык описания модели («матрицы»),  $pr_{eq}^{mlang}$  – язык описания модели («уравнения»);  $pr_{direct}^{solpr}$  – процедура получения решения («прямое распространение

в нейросетях»);  $pr_{invdist}^{learnalg}$  – алгоритм обучения нейросетей («обратное распространение»);  $pr^{arch}$  – архитектура ИНС;  $X, Y$  – множество входов и выходов ИНС;  $EV$  – спецификатор, включающий знания о средней ошибке обучения (5.5.37–5.5.38 из [26]) и знания о гибридных возможностях (табл. 7.2 и 8.6 из [26]);  $res^{ed\ test}$  – обучающая и тестирующая последовательности (разд. 5.3);  $pr_{lin}^{norm}$  – тип нормализации («линейная»);  $R^{mod}$  – «иметь модель»;  $N$  – множество моделей нейронов ИНС.

В терминах (3.1) определим модель вычислений ИНС [25, 26] диагностических подзадач *РЭКГ* и *СМАД*:

$$\overline{mod}_n\ z = \langle pr^{arch}, X, Y, N, res^{ed\ test}, I^{n1}, I^{n2} \rangle, \quad (3.2)$$

где  $I^n = \{I^{n1}, I^{n2}\}$  – интерпретаторы обучения и нейровычислений, соответственно работающие по схеме:  $I^{n1} \rightarrow I^{n2}$ .

На рис. 3.1 отражена альтернативность инструментариев решения двух подзадач, выявленная в разд. 2.4: для решения подзадачи *СМАД* два метода и, соответственно, модели – нейровычислений и рассуждений на базе знаний; для решения подзадачи *ССС* – нечетких рассуждений и рассуждений на базе знаний.

Рассмотрим альтернативные модели решения указанных диагностических подзадач на основе знаний и модели рассуждений эксперта-кардиолога, реализованные в [9] символьными методами экспертных систем [25, 26]: 1) модель экспертной системы, анализирующая *СМАД* – модель *МЭСМАД*,  $mod_{e\ СМАД}$  на рис. 3.1; 2) модель экспертной системы, оценивающая степень и стадию АГ, степень риска ССЗ, – модель *МЭССС*,  $mod_{e\ ССС}$  на рис. 3.1.

*МЭССС* определяет степень артериальной гипертензии (7 классов), стадию эссенциальной АГ при отсутствии вторичной АГ у больного (3 класса) и общий риск сердечно-сосудистых заболеваний (5 классов). Характеристики моделей *МЭСМАД* и *МЭССС* приведены в табл. 3.3. Факты и знания для обеих экспертных

систем извлечены из рекомендаций комитета экспертов ВНОК [75], исследований Е. О'Brien и J.Staessen [121] и бесед с экспертом КОКБ.

Таблица 3.3 – Характеристики экспертных систем, моделирующих знания кардиолога

Характеристики экспертных систем	Значения характеристик моделей подзадач	
	«Оценка степени и стадии артериальной гипертензии, степени риска сердечно-сосудистых заболеваний» (МЭССС, $mod_e^{ССС}$ на рис. 3.1)	«Анализ суточного мониторингирования артериального давления» (МЭСМАД, $mod_e^{СМАД}$ на рис. 3.1)
1	2	3
Тип	Статическая продукционная	
Задача	Классификация	Анализ
Размерность базы знаний	45	50
	правил вида «Если <условие>, то <действие>»	
Размерность базы фактов	180	98
	символьных описаний ресурсов неоднородной задачи диагностики артериальной гипертензии	
Механизм рассуждений	Рассуждения в прямом направлении	
Механизм разрешения конфликтов	Выборочная стратегия [122]	

Концептуальные модели экспертных систем МЭСМАД и МЭССС построены на базе (3.14) [25], расширены ресурсами (база фактов и база знаний системы) и объединены в (3.3):

$$\begin{aligned}
 mod_e^Z = & R^{met} \left( p_Z^h, met_Z \right) \wedge R^{pr} \left( met_Z, pr_{lgl}^k \right) \wedge R^{pr} \left( met_Z, pr_{prod}^{mlang} \right) \wedge \\
 & \wedge R^{pr} \left( met_Z, pr_{forw}^{solpr} \right) \wedge R^{pr} \left( met_Z, EV \right) \wedge R^{pr} \left( met_Z, KB \right) \wedge \\
 & \wedge R^{pr} \left( met_Z, pr_{ifthen}^{sh} \right) \wedge R^{pr} \left( met_Z, FB \right) \quad \Bigg| \quad Z \in \{СМАД, ССС\},
 \end{aligned} \tag{3.3}$$

где  $p_Z^h$  – схема концептуальной модели подзадачи СМАД или РЭКГ, которая определена схемой (2.6);  $met_Z$  – метод;  $pr_{lgl}^k$  – классификатор метода («логико-лингвистический или символьный»);  $pr_{prod}^{mlang}$  – язык описания модели («продукции»);  $pr_{forw}^{solpr}$  – процедура получения решения («прямой вывод»);  $EV$  –

знания о гибридных возможностях (табл. 7.2 и 8.6 из [26]);  $KB$  – база знаний как множество символьных правил-продукций, моделирующих минимально возможную конструкцию точных, детерминированных рассуждений эксперта в форме «условие-действие»;  $pr_{ifthen}^{sh}$  – модель-схема метода: «условие-действие»;  $FB$  – база фактов ЭС как множество связанных или несвязанных друг с другом символьных выражений, задающих декларативную информацию о предметной области необходимую и достаточную для решения подзадачи  $Z$ .

В терминах (3.3) определим модель вычислений ЭС [25, 26] диагностических подзадач  $ССС$  и  $СМАД$ :

$$\overline{mod}_e = \langle KB, FB, RB, I^e \rangle, \quad (3.4)$$

где  $RB$  – база выводов, формируемая  $I^e$  в ходе работы, содержащая информацию о причинах изменений в  $FB$  и комментарии, внесенные экспертом в  $KB$  для объяснений, причем  $RB \subseteq KB$ ;  $I^e = \{I^{e1}, I^{e2}, I^{e3}, I^{e4}\}$  – стратегия управления (или интерпретатор), включающая интерпретаторы выбора из  $KB$  подмножества  $KB^a \subseteq KB$  активных правил, сопоставления с образцом для правил из  $KB^a$ , разрешения конфликтов правил, выполнения правила, соответственно работающие по схеме  $\overline{I^{e1} \rightarrow I^{e2} \rightarrow I^{e3} \rightarrow I^{e4}}$ .

### **3.1.2. Моделирование нечетких рассуждений экспертов: терапевта, невролога, кардиолога, нефролога, сосудистого хирурга и эндокринолога, решающих подзадачи определения состояния здоровья пациента**

Моделирование рассуждений экспертов: терапевта, невролога, кардиолога, нефролога, сосудистого хирурга и эндокринолога, решающих девять подзадач из подмножества «Диагностика критериев оценки сердечно-сосудистого риска и вторичной АГ у пациента» из декомпозиции НЗДАГ (рис. 2.1) – (модели  $MНСДАГ_1$ – $MНСДАГ_9$ ,  $mod_{f\ DAГ_1}, \dots, mod_{f\ DAГ_9}$  на рис. 3.1), и моделирование рассуждений эксперта-кардиолога, решающего подзадачу «Оценка степени и

стадии АГ, степени риска сердечно-сосудистых заболеваний» (модель *МНСССС*,  $mod_{f\text{ CCC}}$  на рис. 3.1), реализовано [9] методами нечетких систем Такаги-Сугено.

*МНСССС* определяет степень АГ по данным систолического и диастолического давления и/или данным от *МИНССМАД*, стадию эссенциальной артериальной гипертензии (или гипертонической болезни) в случае отсутствия вторичной артериальной гипертензии (диагностируется *НСДАГ<sub>7-9</sub>*) по данным от *НСДАГ<sub>1-3</sub>* и *НСДАГ<sub>5</sub>*, *НСДАГ<sub>6</sub>*, определяет общий риск сердечно-сосудистый риск у больного по данным от *НСДАГ<sub>1-6</sub>* и формирует диагноз.

Характеристики моделей нечетких систем представлены в табл. 3.4.

Таблица 3.4 – Характеристики моделей знаний терапевта, невролога, кардиолога, нефролога, сосудистого хирурга и эндокринолога, определяющих патологическое состояние пациента

Характеристики нечетких систем	Значения характеристик моделей нечетких систем подзадач	
	из подмножества «Диагностика критериев оценки сердечно-сосудистого риска и вторичной АГ у пациента» ( <i>МНСДАГ<sub>1</sub> – МНСДАГ<sub>9</sub></i> , $mod_{f\text{ ДАГ}_1}, \dots, mod_{f\text{ ДАГ}_9}$ на рис. 3.1)	«Оценка степени и стадии артериальной гипертензии, степени риска сердечно-сосудистых заболеваний» ( <i>МНСССС</i> , $mod_{f\text{ CCC}}$ на рис. 3.1)
1	2	3
Алгоритм нечетких рассуждений	Такаги-Сугено, так как посылки правил базы знаний заданы нечеткими множествами, а заключения числами – 1 (истина) или 0 – (ложь).	
Пространство выходов	$Y$ с константами, принимающими значения 0 или 1 размерности $N_Y$	
	$N_Y = 7, 7, 10, 2, 6, 12, 19, 22, 3$ соответственно	$N_Y = 100$
Пространство входов	$X$ с нечеткими лингвистическими переменными, например: загрудинные боли, вариабельные боли с термами – интенсивные, умеренные, слабые или отсутствуют (разд. 4.4)	
Функции принадлежности (разд. 4.4)	Сигмоидная и треугольная (рис. 4.4). Построены методом экспертного опроса [123]	
Метод дефаззификации	Метод центра тяжести для одноточечных множеств или взвешенное среднееарифметическое (5.4.29) в [26]	
Размеры баз знаний	19, 14, 15, 15, 38, 27, 34, 26, 24	40

Продолжение табл. 3.4

1	2	3
Тип баз знаний	Синглтонная БЗ [123]. Содержат нечеткие правила вида: $(x_1^k = A_1^k \wedge \dots \wedge x_n^k = A_n^k) \Rightarrow y_j = \varepsilon$ , где $k$ – номер правила в базе знаний; $\wedge$ – логическая операция И; $j = \overline{1, N_Y}$ ; $\varepsilon$ – четкое число (1 – истина, 0 – ложь)	

Концептуальные модели для  $MHCDAГ_{1-9}$  и  $MHCССС$  построены на базе (3.22) из [25] и расширены ресурсами (пространства входных и выходных переменных, база знаний системы, множество функций принадлежности, метод дефаззификации):

$$\begin{aligned}
 mod_{f_z} = & R^{met}(p_z^h, met_z) \wedge R^{pr}(met_z, pr_{igl}^k) \wedge R^{pr}(met_z, pr_{prod}^{mlang}) \wedge \\
 & \wedge R^{pr}(met_z, pr_{fuzz}^{solpr}) \wedge R^{pr}(met_z, EV) \wedge R^{pr}(met_z, KB) \wedge \\
 & \wedge R^{pr}(met_z, \mathbf{X}) \wedge R^{pr}(met_z, \mathbf{Y}) \wedge R^{pr}(met_z, F^\mu) \wedge R^{pr}(met_z, MET^{Def}) \wedge \\
 & \wedge R^{pr}(met_z, pr_{gbox}^{sh}) \wedge R^{pr}(met_z, pr_{cyg}^{alg fuzz}) \mid Z \in \{ДАГ_i, ССС \mid i = \overline{1, 9}\},
 \end{aligned} \tag{3.5}$$

где  $p_z^h$  – схема концептуальных моделей подзадачи  $Z$ , которая определена схемой (2.6);  $met_z$  – метод;  $pr_{igl}^k$  – классификатор метода («логико-лингвистический или символичный»);  $pr_{prod}^{mlang}$  – язык описания модели («множество продукции»);  $pr_{fuzz}^{solpr}$  – процедура получения решения («нечеткий вывод»);  $EV$  – знания о гибридных возможностях (табл. 7.2 и 8.6 из [26]);  $KB$  – база знаний как множество из  $k = 1, \dots, N_{KB}$  правил;  $\mathbf{X}, \mathbf{Y}$  – пространства входных лингвистических и выходных детерминированных переменных диагностической подзадачи  $Z$ ;  $F^\mu$  – множество функций принадлежности пространства входов;  $MET^{Def}$  – метод дефаззификации;  $pr_{gbox}^{sh}$  – модель-схема метода («серый ящик»);  $pr_{cyg}^{alg fuzz}$  – алгоритм нечеткого вывода (выбран алгоритм Такаги-Сугено).

В терминах (3.5) определим модель вычислений НС [25, 26] диагностических подзадач  $ДАГ_{1-9}$  и  $ССС$ :

$$\overline{\text{mod}}_f z = \langle \mathbf{X}, \mathbf{Y}, KB, F^\mu, F^{TS}, MET^{Def}, I^f \rangle, \quad (3.6)$$

где  $F^{TS}$  – множество функциональных зависимостей в качестве посылок и заключений в системе Такаги-Сугено;  $I^f = \{I^{f1}, I^{f2}, I^{f3}, I^{f4}\}$  – интерпретаторы фаззификации, агрегирования (правило типа «минимум»), активизации (берутся все четкие значения всех выходных переменных) и дефаззификации (выполняется усреднение), соответственно работающие по схеме:  $I^{f1} \rightarrow I^{f2} \rightarrow I^{f3} \rightarrow I^{f4}$ .

Характеристики нечетких систем представлены в табл. 3.4.

После разработки моделей (3.1), (3.3), (3.5) функциональных диагностических подзадач неоднородной задачи диагностики с соответствующими им моделями вычислений (3.2), (3.4) и (3.6) специфицируем области релевантности подзадач:

1.  $ССС$  ( $p_{ССС}^h$  на рис. 3.1) – подзадача «Оценка степени и стадии артериальной гипертензии, степени риска сердечно-сосудистых заболеваний»;
2.  $СМАД$  ( $p_{СМАД}^h$  на рис. 3.1) – подзадача «Анализ суточного мониторинга артериального давления», используя результаты их спецификации (разд. 2.2) и разработки их моделей:  $МЭССС$  (табл. 3.3) и  $МНСССС$  (табл. 3.4),  $МИНССМАД$  (табл. 3.1) и  $МЭСМАД$  (табл. 3.3) соответственно.

Для диагностической подзадачи  $p_{СМАД}^h$  сформировано множество из двух пар

$$\text{«модель–интервалы»}: \left\{ \left\{ \text{int}_{sex}^n, \text{int}_{age}^n \right\}_{\text{mod}_n}, \left\{ \text{int}_{sex}^e, \text{int}_{age}^e, \text{int}_{SAD}^e, \text{int}_{DAD}^e, \text{int}_{time}^e \right\}_{\text{mod}_e} \right\},$$

где  $\text{int}_{sex}^n = \{1,0\}$  – пол мужской (1) или женский (0),  $\text{int}_{age}^n = [18,100]$  – возраст,  $\text{int}_{sex}^e = \{ \text{«мужской»}, \text{«женский»} \}$ ,  $\text{int}_{age}^e = \text{int}_{age}^n$ ,  $\text{int}_{SAD}^e = [50,250]$  – систолическое артериальное давление,  $\text{int}_{DAD}^e = [0,200]$  – диастолическое артериальное давление,  $\text{int}_{time}^e = \{ \text{«утро»}, \text{«день»}, \text{«ночь»}, \text{«сутки»} \}$ .

Для диагностической подзадачи  $p_{ССС}^h$  – множество из двух пар «метод–интервалы»:  $\left\{ \left\{ \text{int}_{ДАГ_{1-9}}^f, \text{int}_{СМАД}^f, \text{int}_{SAD}^f, \text{int}_{DAD}^f \right\}_{\text{mod}_f}, \left\{ \text{int}_{ДАГ_{1-9}}^e, \text{int}_{СМАД}^e, \text{int}_{SAD}^e, \text{int}_{DAD}^e \right\}_{\text{mod}_e} \right\}$ , где  $\text{int}_{ДАГ_{1-9}}^f = \text{int}_{ДАГ_{1-9}}^e = \{[0,1], [0,10]\}$  – информация о факторах

риска артериальной гипертензии, поражениях органов-мишеней, ассоциативных клинических состояниях, вторичной эндокринной или почечной АГ,  $int_{CMAД}^f = int_{CMAД}^e = [0,100]$  – степень отклонения данных суточного мониторинга АД от нормы,  $int_{SAD}^e = [50,250]$ ,  $int_{DAD}^e = [0,200]$ .

Таким образом, по моделям (3.1), (3.3), (3.5) с учетом девяти моделей технологических элементов ((3.9), разд. 3.3) можно сделать заключение, что неоднородной задаче диагностики артериальной гипертензии  $p_D$  соответствует гетерогенное модельное поле  $MOD$  размерности  $N_m = 23$  (рис. 3.1). После построения гетерогенного модельного поля и спецификации областей релевантности следует формирование таблицы гибридных стратегий и конструирование метода решения неоднородной задачи неоднородной задачи диагностики артериальной гипертензии.

## **3.2. Синтез метода решения неоднородной задачи диагностики над гетерогенным модельным полем**

Алгоритм синтеза метода решения неоднородной задачи диагностики (рис. 3.6) инициализирует функциональную структуру гибридной интеллектуальной системы для решения неоднородной задачи диагностики (одиннадцатый этап ПС-методологии, рис. 1.4). Алгоритм моделирует коллективное принятие решений консилиумом – деятельность лица, принимающего решение (врача-кардиолога), по организации консилиума, по взаимодействию с экспертами (врачами с узкой специализацией) и по принятию окончательного решения в соответствии с концептуальной моделью на рис. 1.3.

Алгоритм разработан на основе алгоритма 3 из [26] и схемы (1.5).

При этом для решения неоднородной задачи диагностики в (1.5):  $\psi\phi R_{int}^k$  – отношение интеграции элементов, решающих подзадачи  $\phi$  и  $\psi$ , знания которых участвуют в интеграции типа  $k$ ;  $MET^i$  – это метод синтеза стратегии решения неоднородной задачи диагностики (рис. 3.6), моделирующей дополнительную, сотрудничество и относительность разнородных знаний экспертов и ЛПП, а также их интеграцию над гетерогенным модельным полем;  $\bar{G}_D$  – диагностическое



заключение о состоянии объекта диагностики (пациента);  $\overline{D}_D$  – множество значений показателей состояния объекта диагностики.

Входная информация алгоритма (рис. 3.6) на примере задачи диагностики артериальной гипертензии:

1. Декомпозиция  $\overline{p}_D = (P^h, R_3)$  в виде сети – ориентированный граф без петель (рис. 2.1 и схема (2.5)) и таблица гибридных стратегий (табл. 3.5), которые задают взаимно однозначные соответствия –  $\{R_3(p_i^h, p_j^h) \leftrightarrow R_{int}^k\}$ , где  $i, j$  – порядковые номера подзадач из декомпозиции неоднородной задачи диагностики:
 
$$R_3(p_{ППС_{1-9}}^h, p_{ДАГ_{1-9}}^h) \leftrightarrow R_{int}^{upr}, \quad r_3(p_{СМАД}^h, p_{ССС}^h) \leftrightarrow r_{int}^{dop},$$

$$r_3(p_{РЭКГ}^h, p_{ДАГ_1}^h) \leftrightarrow r_{int}^{dop}, \quad R_3(p_{ДАГ_{1-9}}^h, p_{ССС}^h) \leftrightarrow R_{int}^{dop}$$
 (Приложение Б, табл. Б.1);
2. Множество отношений  $R_4$  целей  $G^h$  и исходных данных  $D^h$  однородных задач из декомпозиции  $P^h$ , а также целей  $G$  и исходных данных  $D$  неоднородной задачи  $p_D$ :
 
$$f_1^{GL} \subseteq G \times G_{РЭКГ}^h, \quad f_2^{GL} \subseteq G \times G_{СМАД}^h,$$

$$f_3^{GL} \subseteq G \times G_{ППС_{1-9}}^h, \quad f_4^{GL} \subseteq G \times G_{ДАГ_{1-9}}^h, \quad f_5^{GL} \subseteq G \times G_{ССС}^h$$
 – сюръекции, так как область значений  $f_1^{GL}, f_2^{GL}, f_3^{GL}, f_4^{GL}, f_5^{GL}$  совпадает со всем множеством  $G_{РЭКГ}^h, G_{СМАД}^h, G_{ППС_{1-9}}^h, G_{ДАГ_{1-9}}^h$  и  $G_{ССС}^h$  соответственно;  $f_1^{DAT} \subseteq D \times D_{РЭКГ}^h,$ 

$$f_2^{DAT} \subseteq D \times D_{СМАД}^h, \quad f_3^{DAT} \subseteq D \times D_{ППС_{1-9}}^h, \quad f_4^{DAT} \subseteq D \times D_{ДАГ_{1-9}}^h, \quad f_5^{DAT} \subseteq D \times D_{ССС}^h$$
 – инъективны, так как каждый элемент из области их значений имеет единственный прообраз (табл. Б.2, Приложение Б);
3. Множества интерпретаторов  $I^{MOD}$  моделей гетерогенного модельного поля  $\{I^e, I^g, I^f, I^n\}$ , межмодельных интерфейсов  $\left\{ \begin{matrix} СМАД & CCC & \zeta, \\ ДАГ_{1-9} & CCC & \zeta, \\ ППС_{1-9} & ДАГ_{1-9} & \zeta, \\ РЭКГ & ДАГ_1 & \zeta \end{matrix} \right\}$  и гетерогенное модельное поле  $MOD$  – множество моделей, решающих диагностические подзадачи из декомпозиции неоднородной задачи диагностики артериальной гипертензии – четырнадцать функциональных моделей (3.1), (3.3), (3.5) и девять моделей технологических

элементов (3.9):  $\left\{ mod_g^{ППС_{1-9}}, mod_n^{СМАД}, mod_e^{СМАД}, mod_f^{ДАГ_{1-9}}, mod_n^{РЭКГ}, mod_e^{ССС}, mod_f^{ССС} \right\}$  (рис. 3.1);

4. Принадлежность подзадач из декомпозиции  $P^h$  неоднородной задачи диагностики некоторым подмножествам, определяющим последовательность решения подзадач, задаётся посредством индекса  $In - (In P^h)$ :  ${}^1 P_{ППС_{1-9}}^h, {}^2 P_{СМАД}^h, {}^2 P_{РЭКГ}^h, {}^2 P_{ДАГ_2}^h, {}^2 P_{ДАГ_9}^h, {}^3 P_{ДАГ_6}^h, {}^4 P_{ДАГ_4}^h, {}^4 P_{ДАГ_5}^h, {}^5 P_{ДАГ_8}^h, {}^6 P_{ДАГ_1}^h, {}^7 P_{ДАГ_3}^h, {}^8 P_{ДАГ_7}^h, {}^9 P_{ССС}^h$ .

Таблица 3.5 – Таблица гибридных стратегий задачи НЗДАГ,  $T^u$

Подзадачи НЗДАГ		$P_{ДАГ_{1-9}}^h$	$P_{ССС}^h$	
Подзадачи НЗДАГ	Модели подзадач	$mod_f^{ДАГ_{1-9}}$	$mod_e^{ССС}$	$mod_f^{ССС}$
$P_{ППС_{1-9}}^h$	$mod_g^{ППС_{1-9}}$	$R_{int}^{upr}(ППС_{1-9}, ДАГ_{1-9})$ (7)		
$P_{СМАД}^h$	$mod_n^{СМАД}$		$r_{int}^{dop}(СМАД, ССС)$ (3)	$r_{int}^{dop}(СМАД, ССС)$ (4)
	$mod_e^{СМАД}$			$r_{int}^{dop}(СМАД, ССС)$ (6)
$P_{ДАГ_{1-9}}^h$	$mod_f^{ДАГ_{1-9}}$		$R_{int}^{dop}(ДАГ_{1-9}, ССС)$ (6)	
$P_{РЭКГ}^h$	$mod_n^{РЭКГ}$	$r_{int}^{dop}(РЭКГ, ДАГ_1)$ (4)		

Таким образом, для запуска алгоритма введены отношения  $R_4$  (1.1) [25]; отношения декомпозиции  $R_3$  (2.7) заменены отношениями интеграции  ${}^{\psi\phi} R_{int}^k$  (табл. Г.1, Приложение Г) и введены интерфейсы моделей гетерогенного модельного поля; задана таблица гибридных стратегий (определение 10, десятый этап ПС-методологии, рис. 1.4).

На рис. 3.6 введены обозначения:  $E^l = \{ E_j^l \}$ , где  $j = \overline{1, N_{TP}}$  – множество матриц «модель–модель», строки которых соответствуют моделям диагностической подзадачи  $p_x^h$ , а столбцы моделям подзадачи  $p_y^h$ ;  $N_M$  – количество подзадач в декомпозиции неоднородной диагностической задачи.

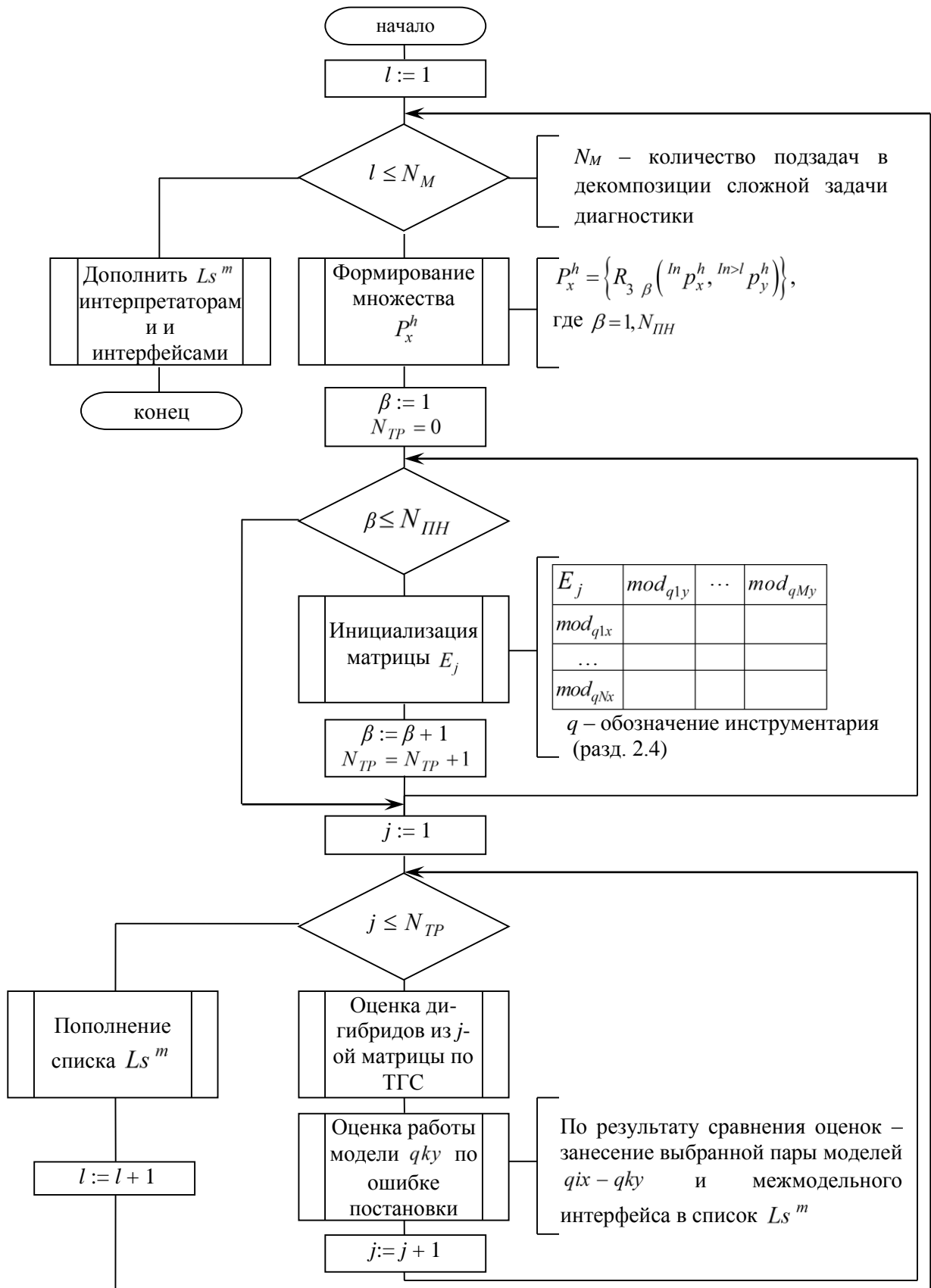


Рисунок 3.6 – Алгоритм синтеза метода решения неоднородной задачи диагностики

Данный алгоритм моделирует принятие решений медицинским консилиумом (рис. 1.3), коллективом экспертов-врачей узкой специализации, знающих детали решения задачи лучше ЛПР (например, врач-кардиолог) и помогающих ЛПР в выработке окончательного решения, диагноза.

Для снижения сложности программирования в алгоритм 3 из [26] было введено [9] явное отображение связи очередности решения диагностических подзадач (рис. 3.6) с формированием (внешний цикл, переменная  $l$ ) и обработкой троек (внутренний цикл, переменная  $\beta$ )  $R_3\left({}^{In}p_x^h, {}^{In>l}p_y^h\right)$  по каждой диагностической подзадаче  $x$ , а также введено ограничение на само формирование концептов: подзадачи  $p_y^h$  берутся те,  $In$  у которых больше  $In$  подзадачи  $p_x^h$ .

На выходе алгоритма синтеза метода решения неоднородной задачи диагностики формируется множество  $Ls^m = \left\{ \left( mod_{qx} \ x, mod_{qy} \ y, {}^x \ y \zeta \right) \middle| qx, qy \in \{n, e, f, g\} \right\}$  – множество, формализующее функциональную структуру ГиИС. Здесь  $n, e, f, g$  указывают на то, что модель разработана по методологии искусственных нейронных сетей, экспертных систем, нечетких систем или генетических алгоритмов соответственно. Также определены интерфейсы для обмена информацией  ${}^x \ y \zeta$ , где  $x, y$  – подзадачи из декомпозиции неоднородной диагностической задачи  $p_D$ .

В  $Ls^m$  однородные задачи заменяются на модели, в том числе выбранные в соответствии с областями релевантности.

Автоматизированное добавление в список моделей, на которых не заданы отношения интеграции и которые решаются посредством одного и того же класса базисных методов [25, 26], не было предусмотрено в алгоритме 3 из [26], однако такая ситуация встречается часто и только с учетом этого множество  $Ls^m$  отражает функциональную структуру ГиИС.

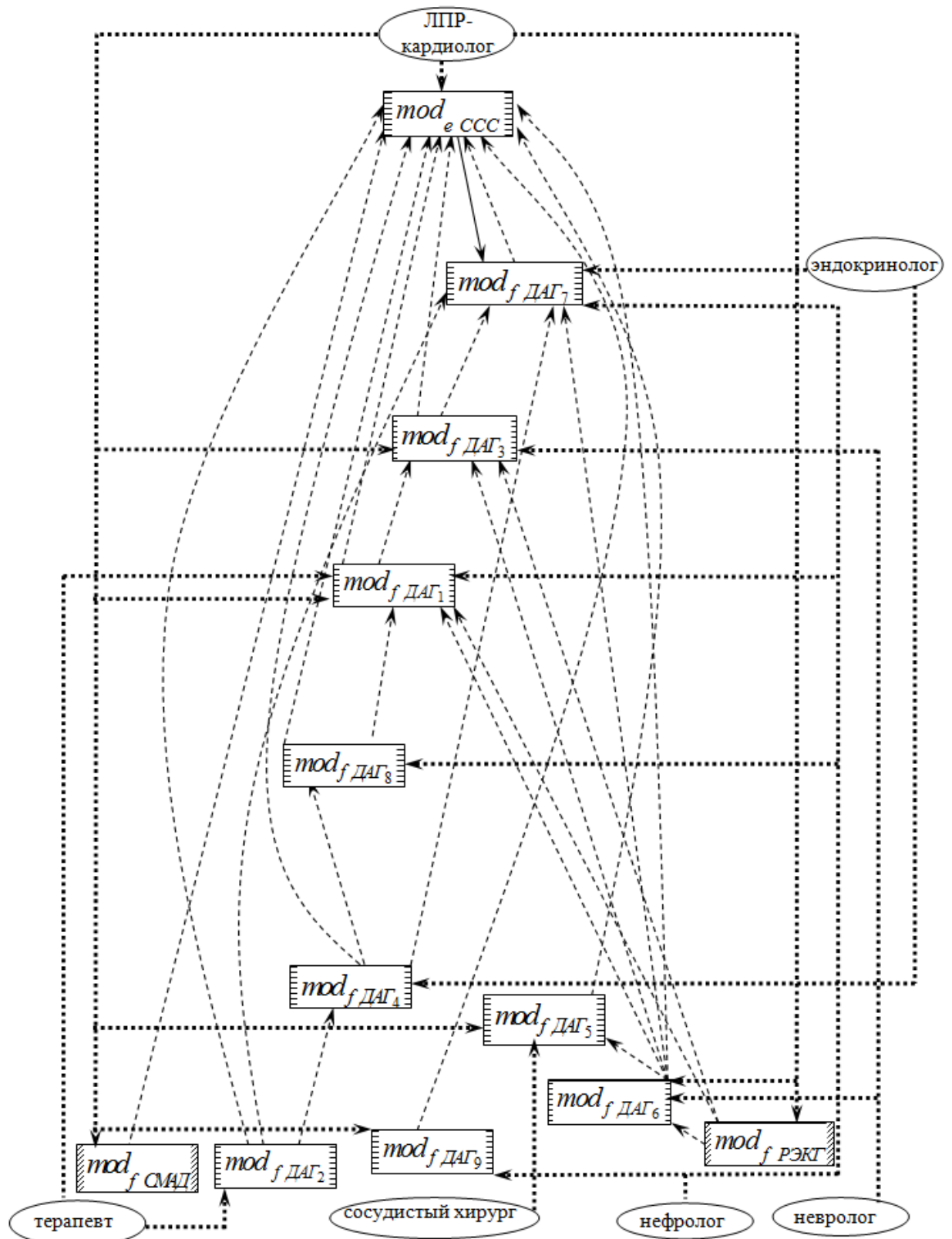
Результат работы алгоритма синтеза метода решения (рис. 3.6) применительно к неоднородной задаче диагностики артериальной гипертензии – формальное описание ГиИС «Виртуальный консилиум для диагностики артериальной гипертензии».

$$\begin{aligned}
Ls^m = & \left\{ \left( \text{mod}_n \text{СМАД}, \text{mod}_e \text{ССС}, \text{СМАД} \text{ССС} \zeta \right), \right. \\
& \left( \text{mod}_g \text{ППС}_1, \text{mod}_f \text{ДАГ}_1, \text{ППС}_1 \text{ДАГ}_1 \zeta \right), \dots, \\
& \left( \text{mod}_g \text{ППС}_9, \text{mod}_f \text{ДАГ}_9, \text{ППС}_9 \text{ДАГ}_9 \zeta \right), \\
& \left( \text{mod}_f \text{ДАГ}_1, \text{mod}_e \text{ССС}, \text{ДАГ}_1 \text{ССС} \zeta \right), \dots, \\
& \left( \text{mod}_f \text{ДАГ}_9, \text{mod}_e \text{ССС}, \text{ДАГ}_9 \text{ССС} \zeta \right), \\
& \left( \text{mod}_n \text{РЭКГ}, \text{mod}_f \text{ДАГ}_1, \text{РЭКГ} \text{ДАГ}_1 \zeta \right), \\
& \left( \text{mod}_n \text{РЭКГ}, \text{mod}_f \text{ДАГ}_6, \text{РЭКГ} \text{ДАГ}_6 \zeta \right), \\
& \left( \text{mod}_n \text{РЭКГ}, \text{mod}_f \text{ДАГ}_3, \text{РЭКГ} \text{ДАГ}_3 \zeta \right), \\
& \left( \text{mod}_f \text{ДАГ}_2, \text{mod}_f \text{ДАГ}_4, \text{ДАГ}_2 \text{ДАГ}_4 \zeta \right), \\
& \left( \text{mod}_f \text{ДАГ}_2, \text{mod}_f \text{ДАГ}_7, \text{ДАГ}_2 \text{ДАГ}_7 \zeta \right), \\
& \left( \text{mod}_f \text{ДАГ}_6, \text{mod}_f \text{ДАГ}_1, \text{ДАГ}_6 \text{ДАГ}_1 \zeta \right), \\
& \left( \text{mod}_f \text{ДАГ}_6, \text{mod}_f \text{ДАГ}_3, \text{ДАГ}_6 \text{ДАГ}_3 \zeta \right), \\
& \left( \text{mod}_f \text{ДАГ}_6, \text{mod}_f \text{ДАГ}_5, \text{ДАГ}_6 \text{ДАГ}_5 \zeta \right), \\
& \left( \text{mod}_f \text{ДАГ}_6, \text{mod}_f \text{ДАГ}_7, \text{ДАГ}_6 \text{ДАГ}_7 \zeta \right), \\
& \left( \text{mod}_f \text{ДАГ}_4, \text{mod}_f \text{ДАГ}_3, \text{ДАГ}_4 \text{ДАГ}_3 \zeta \right), \\
& \left( \text{mod}_f \text{ДАГ}_1, \text{mod}_f \text{ДАГ}_3, \text{ДАГ}_1 \text{ДАГ}_3 \zeta \right), \\
& \left. \left( \text{mod}_f \text{ДАГ}_3, \text{mod}_f \text{ДАГ}_7, \text{ДАГ}_3 \text{ДАГ}_7 \zeta \right) \right\}. \tag{3.7}
\end{aligned}$$

Таким образом, определен алгоритм синтеза метода решения неоднородной задачи диагностики, его вход и выход. Теперь можно перейти к синтезу функциональной структуры ГиИС на ЭВМ.

На рис. 3.7 показано взаимодействие всех 12 функциональных моделей гетерогенного модельного поля ((3.1), (3.3), (3.5), рис. 3.1) подзадач из декомпозиции НЗДАГ (рис. 2.1).

Знания ЛПР (кардиолога) и знания врачей узких специализаций распределены по диагностическим подзадачам в соответствии с концептуальной моделью консилиума (рис. 1.3), декомпозицией НЗДАГ (рис. 2.1, (2.1), (2.7)), спецификацией подзадач из декомпозиции (2.6) и описанием функциональной структуры (3.7).



Обозначения:

.....> – соответствие «знания эксперта-модель»; - - -> – отношения «эксперт-эксперт» и «эксперт-ЛПР»

Рисунок 3.7 – Взаимодействие модели ЛПР (кардиолога) и моделей, содержащих знания экспертов в консилиуме, с распределением знаний экспертов по моделям

На рис. 3.7 показаны отношения «эксперт-эксперт» и «эксперт-ЛПР» между моделями, по которым передаются промежуточные оценки вплоть до формирования ЛПР заключительного диагноза.

На рис. 3.7 также показаны реальные участники консилиума, знания которых применены в моделях, и отображено распределение знаний экспертов-врачей по соответствующим моделям. Знания кардиолога использовались как для формирования заключительного диагноза, так и для решения частных подзадач. Нечеткие модели (табл. 3.4) подзадач  $ДАГ_1$ ,  $ДАГ_3$ ,  $ДАГ_5$ ,  $ДАГ_6$ ,  $ДАГ_7$ ,  $ДАГ_9$  соединяют знания нескольких экспертов аддитивно (разд. 1.3).

Одинаковой штриховкой на рис. 3.7 отмечены блоки – модели диагностических подзадач, решаемых посредством одной и той же методологии (нечетких систем –  $ДАГ_{1-9}$  и  $ССС$  или искусственных нейронных сетей –  $РЭКГ$  и  $СМАД$ ).

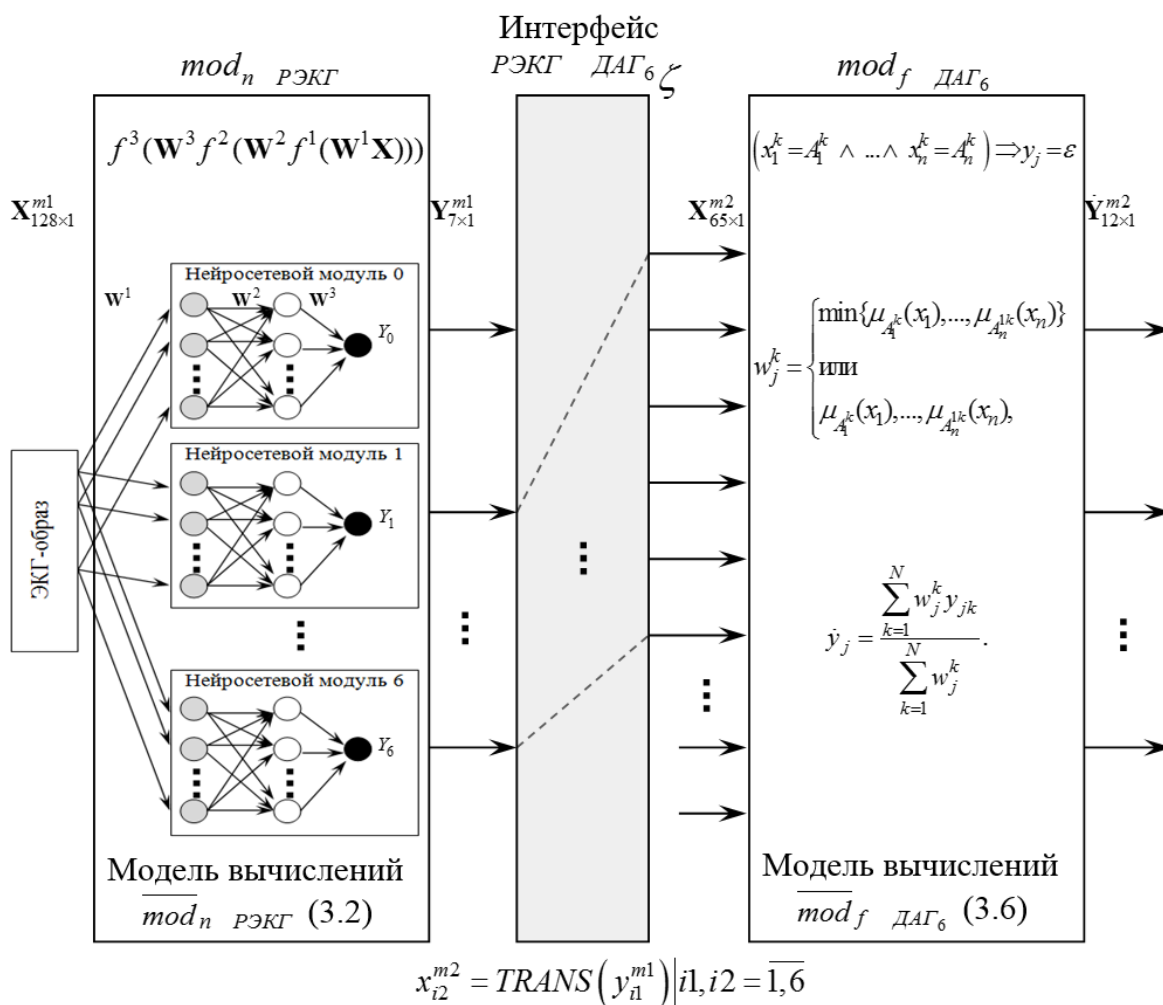
На рис. 3.8 представлено взаимодействие моделей на примере двух моделей из элемента  $(mod_n_{РЭКГ}, mod_f_{ДАГ_6}, {}^{РЭКГ} ДАГ_6 \zeta)$  списка  $Ls^m$  (3.7).

Модель  $mod_n_{РЭКГ}$  – модель модульной (рис. 3.3) искусственной нейронной сети распознавания ЭКГ ( $МИНСРЭКГ$ ), моделирующей знания кардиолога обменивается информацией через межмодельный интерфейс  ${}^{РЭКГ} ДАГ_6 \zeta$  с моделью  $mod_f_{ДАГ_6}$  – модель нечеткой системы диагностики ишемической болезни сердца ( $МНСДАГ_6$ ), моделирующей знания уролога и кардиолога.

Параметры  $mod_n_{РЭКГ}$  описаны в табл. 3.1, схемой (3.1) и моделью вычислений (3.2). Параметры  $mod_f_{ДАГ_6}$  описаны в табл. 3.4, схемой (3.5) и моделью вычислений (3.6).

Интерфейс  ${}^{РЭКГ} ДАГ_6 \zeta$  реализует процедуру  $TRANS$  преобразования выходов  $y_{i1}^{m1} | i1 = \overline{1,6}$  первой модели во входы  $x_{i2}^{m2} | i2 = \overline{1,6}$  второй.

Таким образом, были специфицированы относительность знаний и отношения дополнительности на множестве функциональных моделей гетерогенного модельного поля (рис. 3.7) в соответствии с полученным описанием функциональной структуры ГиИС виртуального консилиума (3.7) и отношениями декомпозиции неоднородной задачи диагностики артериальной гипертензии (2.7).



Обозначения:

$\mathbf{X}_{128 \times 1}^{m1}$  – матрица размерности  $128 \times 1$  входного вектора модели модульной искусственной нейронной сети распознавания ЭКГ;  $\mathbf{Y}_{7 \times 1}^{m1} = (Y_0, \dots, Y_6)^{tr}$  – матрица размерности  $7 \times 1$  выходного вектора  $mod_{РЭКГ}$ ;  $f^1, f^2, f^3$  – операторы логистической функции активации входного, скрытого и выходного слоев;  $\mathbf{W}^1, \mathbf{W}^2, \mathbf{W}^3$  – матрицы синаптических весов входного, скрытого и выходного слоев;  $\overline{mod}_n$  РЭКГ – модель вычислений искусственной нейронной сети распознавания ЭКГ (3.2); ДАГ<sub>1-9</sub> CCC ζ – интерфейс для обмена информацией между моделями, решающими подзадачи распознавания ЭКГ (РЭКГ) и диагностики ишемической болезни сердца (ДАГ<sub>6</sub>);  $i1, i2$  – номера выхода МИНСРЭКГ и входа МНСДАГ<sub>6</sub>, соответственно; TRANS – процедура преобразования;  $(x_1^k = A_1^k \wedge \dots \wedge x_n^k = A_n^k) \Rightarrow y_j = \varepsilon$  – нечеткое правило;  $k$  – номер правила в базе знаний;  $\wedge$  – логическая операция И;  $\varepsilon$  – четкое число (1 – истина, 0 – ложь);  $j = \overline{1, N_Y}$ ;  $w_j^k$  – результат агрегирования min-конъюнкцией;  $\mu_A(x)$  – функции принадлежности;  $N_Y = 12$  – число выходных переменных модели МНСДАГ<sub>6</sub>;  $\overline{mod}_f$  ДАГ<sub>6</sub> – модель вычислений нечеткой системы диагностики ишемической болезни сердца (3.6)

Рисунок 3.8 – Взаимодействие модели искусственной нейронной сети распознавания ЭКГ и модели нечеткой системы диагностики ишемической болезни сердца через межмодельный интерфейс



### 3.3. Сокращение количества факторов, учитываемых в диагностической ситуации

Неоднородные задачи диагностики [124] многофакторные. Однако непосредственное восприятие данных высокой размерности врачом-экспертом в клинической практике невозможно. Поэтому на практике врачи концентрируют внимание на ограниченном наборе факторов, существенных с их личной, субъективной точки зрения. Эти знания относятся к невербальным [125]. В этих случаях используют:

1. Методы отбора признаков [126, 88]: метод полного перебора, метод последовательного удаления и включения признаков, метод ветвей и границ, случайный поиск, методы кластерного анализа и методы генетических алгоритмов [47, 127–129];
2. Методы синтеза набора признаков: метод главных компонент [88, 89, 124, 130, 131], методы факторного анализа [124, 132–136], метод контрастных групп [124], метод нелинейного признакового пространства главных компонент [137, 138].

Технологические модели решают задачи безусловной оптимизации на множестве диагностируемых признаков и исключают из рассмотрения гибридной интеллектуальной системы автоматизированной диагностики избыточные и взаимозависимые показатели, значения которых определяют заболевание, что повышает эффективность и качество принятия решения при диагностике артериальной гипертензии.

Технологические модели, решающие подзадачи исключения из рассмотрения избыточных и взаимозависимых признаков заболеваний «Построение информативного набора признаков при диагностике заболеваний из областей 1–9» (рис. 3.1), реализованы в [9] методами классических генетических алгоритмов (модели  $МГАППС_{1-9}$ ) ввиду низких трудозатрат и отсутствия необходимости в обучении моделей.

Основные характеристики  $МГАППС_{1-9}$  сведены в табл. 3.6.

Таблица 3.6 – Параметры моделей МГАППС<sub>1-9</sub>, решающих технологические подзадачи классическими генетическими алгоритмами

Характеристики генетических алгоритмов	Значения характеристик
1	2
Размер популяции	20 индивидуумов
Размер индивидуумов	30, 20, 80, 20, 65, 65, 190, 130, 25 генов, соответственно
Метод селекции	Турнирная селекция (размер турнира – 2)
Число итераций	100
Функция приспособленности индивидуумов	<p>Минимум <math>f_i</math> (<math>i = \overline{1, N_{KB}}</math> – номер индивидуума в популяции) среднеквадратичной ошибки постановки диагноза пациента соответствующей нечеткой системы под номером <math>k = \overline{1, 9}</math> на тестовой выборке признаков состояния здоровья пациента (составляет <math>N = 20</math> наблюдений):</p> $f_i = \sqrt{\sum_{l=1}^{N_k} \left( \left( \sum_{j=1}^N  \delta_{l,j}  \right) / N \right)^2} / N_k, \quad (3.8)$ <p>где <math>j</math> – номер наблюдения в тестовой выборке;  <math>\delta_{l,j}</math> – отклонение от эталонного значения по <math>l</math>-ому выходу <math>k</math>-ой нечеткой системы (0, если совпадает с эталоном, и 1 или -1, если нет);  <math>N_k</math> – число выходов <math>k</math>-ой нечеткой системы</p>

Концептуальные модели для МГАППС<sub>1-9</sub> построены на базе (3.28) из [25], обобщены в (3.9) и расширены свойствами: класс генетических алгоритмов, база знаний, число итераций алгоритма, функция оценки приспособленности индивидуумов, метод селекции.

$$\begin{aligned}
 mod_g Z = & R^{met} \left( p_Z^h, met_Z \right) \wedge R^{pr} \left( met_Z, pr_{ev}^k \right) \wedge R^{pr} \left( met_Z, pr_{ev}^{sh} \right) \wedge \\
 & \wedge R^{pr} \left( met_Z, pr_{kl}^{kl} \right) \wedge R^{pr} \left( met_Z, pr_{al}^{mlang} \right) \wedge R^{pr} \left( met_Z, pr_{mexp}^{solpr} \right) \wedge \\
 & \wedge R^{pr} \left( met_Z, KB \right) \wedge R^{pr} \left( met_Z, N \right) \wedge R^{pr} \left( met_Z, f_z \right) \wedge \\
 & \wedge R^{pr} \left( met_Z, EV \right) \wedge R^{pr} \left( met_Z, pr_{rul}^{sel} \right) \left| Z \in \{ ППС_1, \dots, ППС_9 \}, \right.
 \end{aligned} \quad (3.9)$$

где  $p_Z^h$  – схема концептуальных моделей подзадачи  $Z$ , которая определена схемой (2.6);  $met_Z$  – метод;  $pr_{ev}^k$  – классификатор метода «эволюционный»;  $pr_{ev}^{sh}$  – модель-

схема метода «эволюция»;  $pr_{kl}^{kl}$  – классический генетический алгоритм;  $pr_{al}^{mlang}$  – язык описания модели «алгоритм»;  $pr_{mexp}^{solpr}$  – процедура получения решения «машинные эксперименты с моделирующим (генетическим) алгоритмом»;  $KB = \{I_j \mid j = \overline{1, N_{KB}}\}$  – база знаний, где  $N_{KB} = 20$ ,  $I_j = g_1 \wedge \dots \wedge g_q \wedge \dots \wedge g_{N_I}$  – микроуровневое представление индивидуума ( $g_q$  – ген, принимающий значения 1 или 0;  $N_I$  – число генов в решении, равное общему количеству учитываемых признаков в соответствующей подзадаче  $ДАГ_z$  для подзадач  $ППС_z$  ( $z = \overline{1, 9}$ ));  $N$  – число итераций;  $f_z$  – функция приспособленности;  $EV$  – знания о гибридных возможностях (табл. 7.2 и 8.6 из [26]);  $pr_{rul}^{sel}$  – метод селекции (турнирная).

В терминах (3.9) определим модель вычислений ГА [25, 26] диагностических технологических подзадач  $ППС_{1-9}$ :

$$\overline{mod}_g \ z = \left\langle \{I_1, \dots, I_{N_{KB}}\}, N, f_z, I^g \right\rangle, \quad (3.10)$$

где  $\{I_1, \dots, I_{N_{KB}}\}$  – популяция индивидуумов;  $N$  – число итераций;  $f_j$  – функция приспособленности, причем  $f_j: \{I_1, \dots, I_{N_{KB}}\} \rightarrow [0; 1]$ ;  $I^g = \{I^{g^1}, I^{g^2}, I^{g^3}, I^{g^4}, I^{g^5}, I^{g^6}, I^{g^7}\}$  – интерпретаторы инициализации популяции, кодирования, оценки и турнирной селекции индивидуумов, формирования родительской популяции, рекомбинации бинарных кодов операциями скрещивания и мутации и проверки условия окончания работы ГА и отображения наилучшего за  $N$  итераций индивидуума-решения, соответственно работающие по схеме:  $I^{g^1} \rightarrow \sqrt{I^{g^2}} \rightarrow I^{g^3} \rightarrow I^{g^4} \rightarrow I^{g^5} \rightarrow I^{g^6} \rightarrow \sqrt{I^{g^7}}$ .

Таким образом, построены концептуальные модели генетических алгоритмов (3.9) технологических элементов гетерогенного модельного поля (рис. 3.1) неоднородной задачи диагностики (на примере артериальной гипертензии) и определены их модели вычислений (3.10). Модели подготовлены для тестирования на предмет включения в гетерогенное модельное поле разнородных знаний экспертов, врачей смежных специальностей.

### 3.4. Выводы

Рассмотрен способ моделирования разнообразия, относительности и дополнительности знаний экспертов посредством гетерогенного модельного поля (на примере задачи диагностики артериальной гипертензии).

Разработано гетерогенное модельное поле неоднородной задачи диагностики артериальной гипертензии, содержащее 23 однородные модели: функциональные – (3.1), (3.3), (3.5) с моделями вычислений (3.2), (3.4) и (3.6) соответственно, и технологические – (3.9) генетических алгоритмов с моделью вычислений (3.10). Модели подготовлены для тестирования на предмет включения в гетерогенное модельное поле виртуального консилиума для диагностики артериальной гипертензии (разд. 5.3).

Определен алгоритм выбора стратегии решения неоднородной задачи диагностики, его вход и выход. Результат его работы – описание функциональной структуры ГиИС автоматизированной диагностики (на примере артериальной гипертензии – (3.7)) для дальнейшего построения её модели (разд. 4.1, разд. 4.2) в определенном декомпозицией порядке.

Построена схема, описывающая относительность знаний «эксперт–лицо, принимающее решение», и отношения дополнительности «эксперт–эксперт», а также взаимодействие всех двенадцати функциональных моделей гетерогенного модельного поля ((3.1), (3.3), (3.5), рис. 3.1), решающих диагностические подзадачи, для дальнейшей инициализации гибридной интеллектуальной системы автоматизированной диагностики (гл. 4).

## ГЛАВА 4. «ВИРТУАЛЬНЫЙ КОНСИЛИУМ» – ИНСТРУМЕНТАЛЬНАЯ СРЕДА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

### 4.1. Функциональная структура инструментальной среды для поддержки принятия диагностических решений

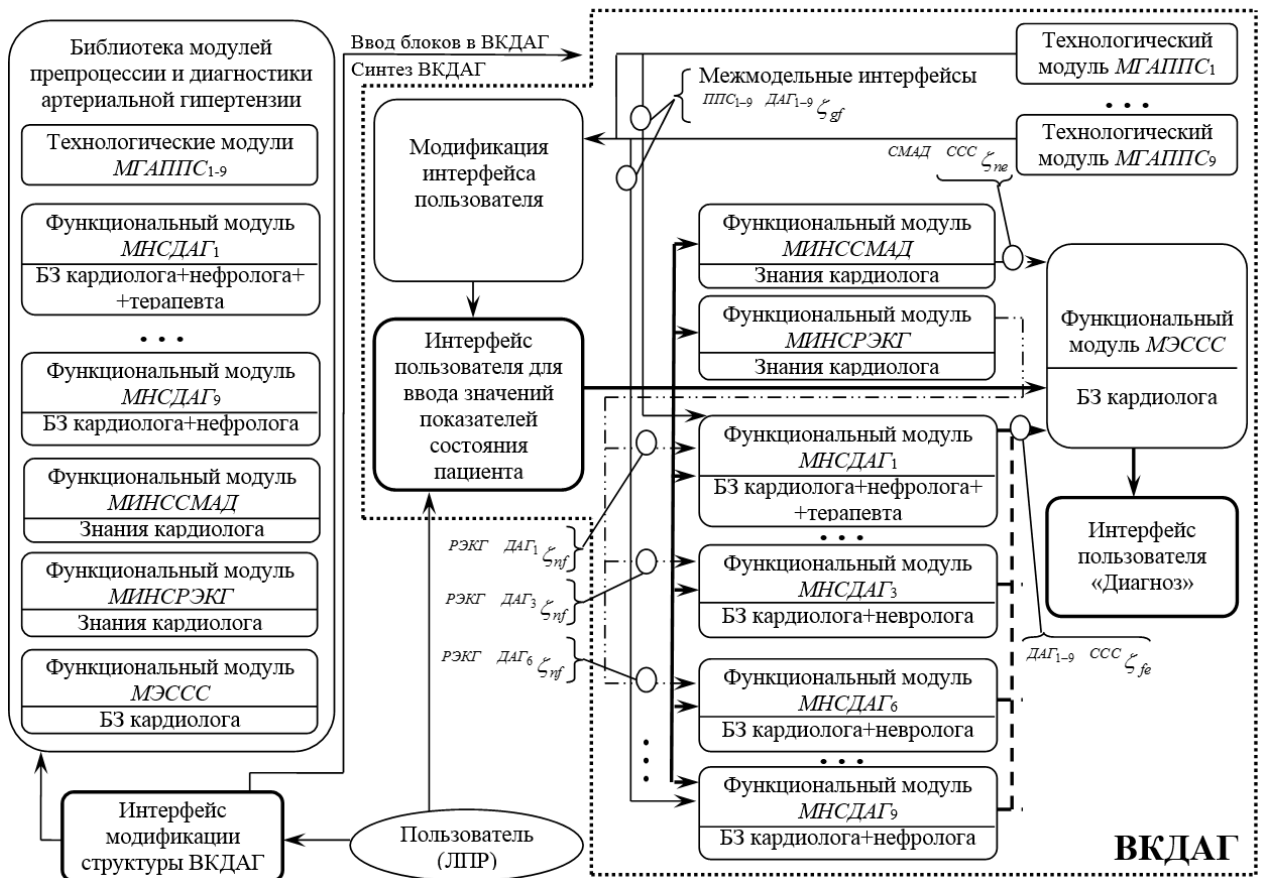
Анализ концептуальной модели неоднородной задачи диагностики в медицине (рис. 1.1, (1.1)) показал, что функциональная структура ГиИС для решения НЗД должна обладать:

1. Модульностью в связи с разнообразием востребованных решений;
2. Гибким алгоритмом диагностики и интерфейсом пользователя для конкретного пациента, отвечающими запросам пользователя в зависимости от диагностической ситуации;
3. Библиотекой функциональных модулей, решающих частные задачи определения состояния здоровья экспертами и задачу по интеграции их мнений и формирования заключительного диагноза лицом, принимающим решение, и технологических модулей, реализующих препроцессию входной информации функциональных модулей для организации эффективной обработки данных и знаний; библиотека модулей должна соответствовать полученному описанию  $Ls^m$  (3.7) функциональной структуры ГиИС для поддержки принятия решения при диагностике в медицине и концептуальной модели консилиума (разд. 1.3, рис. 1.3), включающей модели ЛПР и модели знаний экспертов, врачей узкой специализации;
4. Модулем ЛПР-кардиолога, формирующего заключительный диагноз.

Для удовлетворения требованиям, сформулированным к программной реализации ИС «Виртуальный консилиум», разработана его функциональная структура (рис. 4.1) [11]. Для инициализации функциональной структуры виртуального консилиума для диагностики артериальной гипертензии определен алгоритм синтеза стратегии решения неоднородной задачи (рис. 3.6), моделирующий коллективное принятие решений (рис. 1.3). Функциональная

структура (рис. 4.1) не отображает передачу информации между функциональными модулями диагностических подзадач в соответствии с отношениями на множестве подзадач из декомпозиции неоднородной задачи –  $R_3 \subseteq R_{LPR\ E}^S \cup R_{E\ E}^S \cup R_{LPR\ E}$  (2.7).

На рис. 4.1 показаны межмодельные интерфейсы  $x\ y\ \zeta$  только для модулей подзадач  $x$  и  $y$ , модели которых реализованы посредством различных базисных методов ГИИС [25, 26]. Но для организации весьма сложного обмена информацией интерфейсы введены также между модулями, содержащими модели, реализованные посредством одной и той же методологии.



Обозначения:

БЗ – база знаний;  $n$  – искусственные нейронные сети,  $e$  – экспертные системы,  $f$  – нечеткие системы,  $g$  – генетические алгоритмы

Рисунок 4.1 – Функциональная структура инструментальной среды  
«Виртуальный консилиум»

Гибкость алгоритма диагностики и интерфейса реализована посредством «Интерфейса модификации структуры ВКДАГ», с которым работает пользователь

системы непосредственно, и посредством модуля «Модификация интерфейса пользователя», запускающегося на основе информации, полученной от технологических модулей. В табл. 4.1 приведено описание входов, выходов и функций, выполняемых всеми блоками модулей и интерфейсов.

Таблица 4.1 – Описание блоков функциональной структуры инструментальной среды «Виртуальный консилиум»

Наименование блока	Функции	Вход	Выход
1	2	3	4
Технологический модуль $i$ -ый для $i$ -ой <i>МГАППС</i> <sub>1-9</sub>	Организация эффективной обработки данных и знаний; выбирается для включения в ГиИС – построение информативного набора признаков при диагностике заболеваний – минимизирует общее число входных переменных $i$ -ого нечеткого модуля	Популяция индивидуумов, накладываемых как маска на $i$ -ый функциональный модуль	Наилучший индивидуум с оптимальным набором признаков – в $i$ -ом функциональном модуле учитываются на входе только признаки, принимающие значения единицы у индивидуума
Функциональный модуль $i$ -ый для $i$ -ой <i>МНСДАГ</i> <sub>1-9</sub>	Определение состояния здоровья пациента в рамках $i$ -ой подзадачи из декомпозиции НЗД; выбирается для включения в ГиИС	Подмножество $i$ -ое значений показателей состояния здоровья	Частное $i$ -ое заключение о состоянии здоровья пациента
Функциональный модуль <i>МЭССС</i> , включающий базу знаний кардиолога	Формирование заключительного диагноза артериальной гипертензии (всегда в составе виртуального консилиума)	Подмножество симптомов, множество выходов функциональных нечетких модулей 1–9 и модуля <i>МИНССМАД</i>	Заключительный диагноз артериальной гипертензии (разд. 3.1.2, табл. 3.4)
Функциональный модуль <i>МИНСРЭКГ</i> , моделирующий знания кардиолога	Определение патологического состояния пациента по его электрокардиограмме	см. табл. 3.1	см. табл. 3.1
Функциональный модуль <i>МИНССМАД</i> , моделирующий знания кардиолога	Определение нормальных значений суточного мониторирования артериального давления и вычисление отклонения от них данных пациента	Вектора с данными по полу и возрасту пациента и с данными суточного мониторирования АД пациента	Вектор отклонения реальных значений суточного мониторирования АД от нормальных
Библиотека модулей диагностики и препроцессии	Хранение заранее инициализированных в программной среде функциональных и технологических моделей	Множество инициализированных в программной среде функциональных и технологических моделей	

Продолжение табл. 4.1

1	2	3	4
Интерфейс модификации структуры ВКДАГ	Исключение из диагностики модулей, решающих не интересующие пользователя подзадачи из декомпозиции неоднородной задачи (по умолчанию включены все технологические и функциональные модули)	Множество выбранных пользователем подзадач диагностики	ГиИС, синтезированная посредством алгоритма на рис. 3.6
Интерфейс пользователя «Диагноз»	Визуализация результатов диагностики и корректировка их пользователем при необходимости	Заключительный диагноз от функционального модуля МЭССС	Отчет, содержащий множество симптомов и диагноз
Модификация интерфейса пользователя	Деактивация элементов на интерфейсе пользователя для ввода значений показателей состояния здоровья (характеристик) пациента	Множество выходов технологических модулей. Деактивации подлежат элементы с нулевой позицией в векторе	Частично деактивированный интерфейс пользователя для ввода значений характеристик пациента
Интерфейс пользователя для ввода значений показателей состояния здоровья пациента	Ввод значений показателей состояния здоровья пациента. Может состоять из нескольких окон в соответствии с тремя этапами диагностического процесса в медицине (разд. 1.2)	Множество значений показателей состояния здоровья пациента	Значения характеристик пациента, распределенные по функциональным модулям системы и преобразованные к формату входа соответствующего модуля

Взаимодействие функциональных модулей  $МНСДАГ_{1-9}$  соответствует взаимодействию функциональных моделей (рис. 3.7), решающих диагностические подзадачи из декомпозиции неоднородной задачи диагностики АГ.

Межмодельные интерфейсы для модулей, содержащих модели, реализованные посредством различных методологий ГиИС на рис. 4.1 следующие:

1.  $ППС_{1-9}$   $ДАГ_{1-9}$   $\zeta_{gf}$  между технологическими модулями  $МГАППС_{1-9}$  – генетические алгоритмы (g) и функциональными модулями  $МНСДАГ_{1-9}$  – нечеткие системы (f);
2.  $РЭКГ$   $ДАГ_1$   $\zeta_{nf}$ ,  $РЭКГ$   $ДАГ_3$   $\zeta_{nf}$ ,  $РЭКГ$   $ДАГ_6$   $\zeta_{nf}$  между функциональным модулем  $МИНСРЭКГ$  – искусственные нейронные сети (n) и функциональными модулями  $МНСДАГ_1$ ,  $МНСДАГ_3$ ,  $МНСДАГ_6$  – нечеткие системы (f), соответственно;



3.  $СМАД \text{ } \zeta_{ne} \text{ } ССС$  между функциональным модулем *МИНССМАД* – искусственные нейронные сети (*n*) и функциональным модулем *МЭССС* – экспертная система (*e*);
4.  $ДАГ_{1-9} \text{ } \zeta_{fe} \text{ } ССС$  функциональными модулями *МНСДАГ<sub>1-9</sub>* – нечеткие системы (*f*) и функциональным модулем *МЭССС* – экспертная система (*e*).

## **4.2. Реализация инструментальной среды «Виртуальный консилиум» в математическом пакете MATLAB–Simulink и оболочке экспертных систем КАРРА РС**

Понятие виртуального консилиума (виртуального коллектива) в настоящее время достаточно размыто: начиная от программно-аппаратного комплекса для обеспечения совместных территориально распределенных совещаний специалистов до систем, консультирующих пациента или лечащего врача относительно постановки диагноза. В частности, к последним относятся, например, системы [139] *Virtual Consultation Spine* и *Virtual Consultation Neck* – относительно простые экспертные системы, предназначенные для экспресс-диагностики заболеваний позвоночника и шеи человека.

В настоящей работе виртуальный консилиум (определение 6, разд. 1.2) рассмотрен как искусственная гетерогенная система [77] – ГиИС. Такие системы: 1) эффективнее решают сложные проблемы, в то время как гомогенные лучше справляются с простыми задачами; 2) способны на имеющемся гетерогенном модельном поле (разд. 3.1) динамично синтезировать интегрированную модель коллективной выработки решений.

Для моделирования ВКДАГ был выбран математический пакет MATLAB–Simulink. В табл. 4.2 представлен обзор инструментальных средств для разработки ГиИС, их характеристики и требования.

MATLAB – высокоуровневый язык, а также интерактивная среда для анализа данных, разработки алгоритмов и приложений, содержит инструменты базисных методов гибридных интеллектуальных систем [25], блоки которых есть и в Simulink. Пакет Simulink – интерактивный инструмент для моделирования и

анализа систем, предоставляющий возможность строить графические блок-диаграммы, моделировать работу систем, исследовать работоспособность и совершенствовать их. Simulink интегрирован с MATLAB, обеспечивая немедленным доступом к широкому спектру инструментов анализа и проектирования.

Таблица 4.2 – Основные инструментальные средства разработки гибридных интеллектуальных систем

Наименование 1	Характеристика, особенности 2	Требования 3
Система моделирования визуальных событий Visual Event 2.0 [26]	Система с конвейерной моделью внешнего мира и детализацией внешнего мира ресурсами, свойствами и связями, через которые один ресурс может воздействовать на другие. Технология VE COM позволяет представить крупно- и мелкозернистый элемент ГиИС черным ящиком, имеющим только интерфейсы доступных преобразований над содержимым ящика, а также доступ к его свойствам. Поддерживает этапы 1–5 ПС-методологии (рис. 1.4)	Windows, без особых требований
Пакет Model Visual Studium [140]	Ориентирован на описание сложных поведений. Использует численное объектно-ориентированное моделирование гибридных систем посредством «карт поведения» – разновидности гибридных автоматов. С каждым динамическим объектом связаны: карта поведения, иерархия и динамический графический образ. Исследователь создает экспериментальную установку, не программируя, подсоединяет к ней генераторы сигналов и измерительные приборы, наблюдает и фиксирует её поведение. Необходимы символьные преобразования, что резко сужает возможности описания гибридного поведения, а также необходимость численного решения большого числа алгебраических уравнений, что значительно усложняет задачу автоматического получения достоверного решения	Windows, без особых требований
Инструментальная среда ECANSE [141]	Предназначена для визуального программирования ГиИС и представляет собой совокупность базовых модулей (нейросеть, нечеткая логика, теория хаоса, генетические алгоритмы, экспертные системы, собственные приложения пользователя), комбинируемых в приложениях. Ориентация на ликвидацию недостатков базисных методов, а также на задачи реального мира, требующие сложных решений. Есть стандартные интерфейсы с базами данных и графическими средствами	Windows, без особых требований
Инструментальная среда NueX [140]	Среда разработки гибридов нейросетей и экспертных систем. Предназначена для реализации интегрированного подхода к структурированию, представлению и обработке знаний. Интерфейс пользователя в NueX разрабатывается в HyperCad – системном ПО для проектирования информационных систем на гипертексте для Macintosh – компьютеров. Для проектирования приложения предоставляется форма, делящая экран на четыре окна – для ИНС, ЭС, данных и стека. Априорно созданные стек приложения и ассоциированные с ним БЗ и ИНС могут быть инициализированы. База знаний состоит из правил манипулирования ЭС и нейросетями, которые конструируются из библиотечных команд. Команды обеспечивают интерфейсы ИНС и специфицируют гипертекстовые ссылки	Windows, без особых требований

Продолжение табл. 4.2

1	2	3
Инструментальная среда разработки интегрированных, интеллектуальных систем управления фирмы Gensym [142] на основе ЭС реального времени G2 разработала: 1) G2 Diagnostic Assistant 2) NeurOn-Line 3) NeurOn-Line Studio 4) ReThink и др	1) продукт для работы в реальном масштабе времени, обнаружения нештатных ситуаций и предоставления оператору советов как справиться с возникающими проблемами; 2) графический, объектно-ориентированный программный инструмент для разработки нейросетевых приложений применительно к динамическим средам; 3) программный инструмент для интеллектуального анализа технологического процесса, моделирования и оптимизации; 4) программное обеспечение для графического проектирования, моделирования и управления бизнес-процессами, ориентирован на консультантов и специалистов по реинжинирингу	128 MB RAM, 96 MB виртуальной памяти 30 MB свободного пространства на HD G2 5.0 rev.1 или выше
Пакет MATLAB 2012a [143]	Интерактивная программа, операционная система и язык программирования одновременно. Включает инструменты для реализации методологий генетических алгоритмов (Genetic Algorithm and Direct Search Toolbox), ИНС (Neural Network Toolbox) и нечетких систем (Fuzzy Logic Toolbox), систему разработки нейро-нечетких гибридов ANFIS (англ. Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System), а также Optimization Toolbox	Windows Оперативная память: 512 MB (1024 MB рекомендуется)
Интегрированная среда гибридного дискретного моделирования IDS [144]	Вычислительная машина моделирования сложных дискретных систем. Реализован аппарат поиска состояний системы, по критериям качества. Можно находить оптимальные и компромиссные решения, не оптимальные, но требующие меньших затрат. Есть визуальная разработка иерархической системы и связанных с ней подпроцессов. Может быть дополнена пользовательскими модулями обработки данных и принятия решений	Windows 7, Ubuntu 12.10
Система визуального моделирования Simulink [143]	Система визуального моделирования, как инструментальное средство входит в пакет MATLAB, может рассматриваться и как самостоятельный продукт фирмы MathWorks. Основывается на технологии drag&drop моделей – модули-блоки из библиотеки SIMULINK. Пакеты Fuzzy Logic Toolbox и Neural Network Toolbox могут быть включены в библиотеки SIMULINK. Модель функционирует в модельном времени с таймером переменного и постоянного шага. При создании сложных моделей строятся громоздкие многоуровневые блок-схемы, не отражающие естественной структуры моделируемой системы. Работает эффективно, когда есть подходящие стандартные блоки	MATLAB

Для разработки экспертной системы выбрана оболочка KAPPA PC (IntelliCorp, Inc.) [145]: 1) использует объектно-ориентированный подход к разработке базы фактов и представлению фактов в контексте задачи; 2) есть встроенный язык программирования (KAPPA Algorithmic Language); 3) позволяет организовать рассуждения с использованием правил как в прямом, так и в обратном направлении с использованием различных стратегий; 4) есть возможность связи с другими приложениями.

Разработаны метод, модели и алгоритмы (гл. 2, гл. 3), реализующие на ЭВМ виртуальное совещание, консилиум (рис. 1.3), программных моделей знаний

врачей различных специальностей для поддержки принятия диагностических решений в парадигме гибридных интеллектуальных систем.

Консилиум интегрирует разнородные модели знаний и имитирует дополненность и относительность коллективных рассуждений экспертов в условиях существенного разнообразия информации о состоянии здоровья пациента (результатов сбора анамнеза, физикального, лабораторного и функционального обследований) для постановки релевантного диагноза, в частности диагноза АГ.

ВКДАГ разработан как модульная ГиИС междисциплинарного характера (рис. 4.1), комбинирующая методы из различных классов (искусственные нейронные сети, генетические алгоритмы, нечеткие системы, экспертные системы) и отображающая функциональную структуру неоднородной задачи диагностики АГ – области её однородных параметров (разд. 2.3).

В табл. 4.3 приведен состав программного обеспечения ИС «Виртуальный консилиум» и установлено соответствие между блоками функциональной структуры ВКДАГ (рис. 4.1) и файлами MATLAB–Simulink.

Таблица 4.3 – Состав программного обеспечения виртуальный консилиума

Наименование блоков виртуального консилиума	Функции блоков	Файлы MATLAB–Simulink / оболочки KAPPA PC
1	2	3
Библиотека модулей препроцессии и диагностики артериальной гипертензии	Хранение в программной среде функциональных и технологических моделей	Стандартными средствами: VKDAG.mdl, slbblocks.m, GAlib.mdl, Fuzzylib.mdl, INSLib.mdl, ESLib.mdl
Технологические модули МГАППС <sub>1-9</sub>	Построение информативного набора признаков при диагностике	Стандартными средствами: GA1.m–GA9.m, ff1.m–ff9.m
Функциональные модули МНСДАГ <sub>1-9</sub>	Определение состояния здоровья пациента	Стандартными средствами: DAG1POM.m, DAG2FR.m, DAG3CVB.m, DAG4MSSD.m, DAG5Perart.m, ..., DAG9RenAG.m
Функциональный модуль МЭССС	Формирование заключительного диагноза артериальной гипертензии	SSS.kal, SSS.m
Функциональный модуль МИНСРЭКГ	Определение патологического состояния пациента по его электрокардиограмме	searchR.m, ECGpattern.m, teachtestpattern.m, INSECGbuilteachtestanalis.m
Функциональный модуль МИНСМАД	Определение нормальных значений суточного мониторинга артериального давления и вычисление отклонения от них у пациента	INSSMADbuilteachtestanalis.m
Интерфейс модификации структуры виртуального консилиума для диагностики артериальной гипертензии	Исключение из диагностики модулей, решающих не интересующие пользователя подзадачи из декомпозиции неоднородной задачи	design_VKDAG.m Стандартными средствами: design_VKDAG.fig

Продолжение табл. 4.3

1	2	3
Интерфейс пользователя для ввода значений показателей состояния здоровья (включает девять основных окон): - Анамнез (два окна) - Физикальное обследование (два окна) - Рекомендации по лабораторному обследованию - Лабораторное обследование (четыре окна)	Ввод значений показателей состояния здоровья пациента	Файлы с расширением «.fig» получены стандартными средствами - anamnez.m, anamnez.fig, anamneznex.m, anamneznex.fig - fizikal.m, fizikal.fig, fizikalnex.m, fizikalnex.fig - rec.m, rec.fig - lab.m, lab.fig, labnex.m, labnex.fig, ecg.m, ecg.fig, smad.m, smad.fig
Межмодельные интерфейсы: - технологические модули (генетические алгоритмы) – функциональные модули (нечеткие системы); - функциональный модуль МИНСРЭКГ (искусственная нейронная сеть) – функциональные модули МНСДАГ <sub>1</sub> , МНСДАГ <sub>3</sub> , МНСДАГ <sub>6</sub> (нечеткие системы); - десять функциональных модулей (искусственная нейронная сеть МИНССМАД, девять нечетких систем НСДАГ <sub>1-9</sub> ) – функциональный модуль МЭССС (экспертная система)	Обмен информацией между модулями, реализованными посредством различных методологий гибридных интеллектуальных систем	F1.m–F10.m
Модификация интерфейса пользователя	Деактивация элементов на интерфейсе пользователя для ввода значений характеристик пациента	FSS_setup1.m–FSS_setup9.m, FMSymptoms.m
Интерфейс пользователя «Диагноз»	Визуализация результатов диагностики и корректировка их пользователем при необходимости	diagn.m Стандартными средствами: diagn.fig
Инструментальная среда «Виртуальный консилиум»	Поддержка принятия решения при диагностике артериальной гипертензии у пациента	Стандартными средствами: VKDAG.slx

В общей сложности создано 83 файла средствами пакета MATLAB–Simulink/оболочки экспертных систем КАРРА РС.

В MATLAB–Simulink были разработаны (табл. 4.3) интерфейсы для ввода/вывода информации в виртуальном консилиуме для диагностики артериальной гипертензии. Рассмотрим формы интерфейсов ввода/вывода.

*Форма «Структурные элементы системы ВКДАГ».* Система предоставляет пользователю возможность конфигурировать ВКДАГ посредством данного интерфейса (рис. В.1, Приложение В). Здесь можно включить или удалить модули из консилиума: 1) препроцессию входной информации посредством генетических алгоритмов (модели МГАППС<sub>1-9</sub>, разд. 3.3); 2) нечеткие функциональные элементы гетерогенного модельного поля – МНСДАГ<sub>1-9</sub> и экспертную систему – МЭССС (разд. 3.1.2), определяющие состояние диагностируемого пациента; 3) модель,

распознающую патологии по ЭКГ, и/или модель, анализирующую данные суточного мониторинга артериального давления пациента (*МИНСРЭКГ* и *МИНССМАД*, соответственно, разд. 3.1.1).

*Формы «Анамнез» и «Анамнез (продолжение)».* Во время работы виртуального консилиума для диагностики артериальной гипертензии над решением неоднородной задачи диагностики артериальной гипертензии пользователю предъявляются окна для ввода информации по анамнезу пациента, диагностируемого на наличие АГ (рис. В.2, рис. В.3, Приложение В). Здесь вводятся значения показателей состояния здоровья пациента: пол, объем талии, вес, рост, возраст и др. Кнопка «Далее» на форме *«Анамнез (продолжение)»* задает переход к следующему шагу – вводу информации по физикальному обследованию пациента, а нажатие на кнопку «*Диагноз (предварительный)*» задает выдачу результатов анализа анамнестической информации и открывает форму «*Диагноз*».

*Формы «Физикальное обследование» и «Физикальное обследование (продолжение)».* Во время работы ВКДАГ над решением НЗДАГ пользователю предъявляются окна для ввода информации о результатах физикального обследования пациента (рис. В.4, рис. В.5, Приложение В). Здесь вводится такая информация, как: частота пульса, температура, результаты теста ходьбы, характеристики поведения, описываются особенности тела, кожи, шеи, результаты прощупывания пациента и т.д. Кнопка «Далее» на форме *«Физикальное обследование (продолжение)»* задает переход к следующему шагу – ввод информации по лабораторному обследованию пациента. Кнопка «*Рекомендации по лабораторному обследованию*» запускает предварительную обработку множества введенных симптомов и открывает одноименную форму. Кнопка «*Диагноз (предварительный)*» задает выдачу результатов анализа информации анамнеза пациента и его физикального обследования, а также открывает форму «*Диагноз*».

*Форма «Рекомендации по лабораторному обследованию».* Во время работы ВКДАГ пользователю по его требованию предъявляется окно с рекомендациями по видам требуемых лабораторных тестов для последующего лабораторного обследования (рис. В.6, Приложение В). Кнопка «*Диагноз (предварительный)*» открывает форму «*Диагноз*» с результатами анализа анамнеза пациента и его

физикального обследования. Кнопка «Далее» задает переход к следующему шагу – вводу информации по лабораторному обследованию пациента.

*Формы «Лабораторное обследование» и «Лабораторное обследование (продолжение)».* Во время работы ВКДАГ над решением НЗДАГ пользователю предъявляются окна для ввода информации о результатах лабораторного обследования пациента (рис. В.7, рис. В.8, Приложение В). Здесь вводится такая информация, как: результаты анализов мочи и крови, результаты УЗИ, урографии, ЭКГ (если результаты уже есть), эхокардиограмма и т.д. Кнопка «Анамнез» активирует форму «Анамнез» (рис. В.2) при необходимости возврата на этап сбора анамнеза пациента. Кнопка «Данные по физикальному обследованию» открывает форму «Физикальное обследование» (рис. В.4) при необходимости корректировки или дополнения информации по физикальному обследованию. Кнопка «Диагноз» открывает одноименную форму (рис. В.9), содержащую диагностическое заключение.

*Форма «Диагноз».* После того как работа ВКДАГ по поиску решения неоднородной задачи диагностики артериальной гипертензии завершена, открывается окно формы «Диагноз» (рис. В.9, Приложение В), в котором показывается степень АГ, стадия гипертонической болезни, уровень риска ССЗ, наличие таких критериев ССЗ, как: сахарный диабет, метаболический синдром и гипергликемия, факторы риска, поражение органов-мишеней, тип ремоделирования левого желудочка при гипертрофии левого желудочка, ассоциативные клинические состояния. Если пользователя удовлетворяют результаты, они печатаются в виде заключения аналогичного выписке из истории болезни стационара и содержащего множество симптомов пациента и его диагнозов. Диагноз может быть подкорректирован вручную посредством интерфейса формы «Диагноз» или посредством кнопки «Инициализировать ВКДАГ заново», открывающей форму «Структурные элементы системы ВКДАГ» для инициализации виртуального консилиума с новой структурой. Результаты диагностики пациента сохраняются во внутреннем формате ПП ВКДАГ и в файл MS WORD кнопкой «Сохранить заключение» на форме «Диагноз».

Требования к техническому и программному обеспечению ИС «Виртуальный консилиум»: процессор Intel Pentium, с тактовой частотой не менее 400 МГц;

жёсткий диск – не менее 10 Гб; видеокарта, с видеопамятью не менее 32 МБ; оперативная память – не менее 512 МВ (1024 МВ рекомендуется); манипулятор типа «мышь»; русифицированная клавиатура (количество клавиш 102); цветной монитор с разрешением экрана 1024\*768; черно-белый принтер формата А4; источник бесперебойного питания, обеспечивающий работу компьютера (не менее 5 минут); ОС Windows XP, MATLAB 2012, Simulink, MS Office.

Рассмотрим структурную схему виртуального консилиума в Simulink [10] подробнее (рис. Г.1, Приложение Г). В его составе модели: кардиолога (в том числе и в качестве ЛПР), невролога, нефролога терапевта, эндокринолога, уролога. Библиотека со всеми блоками ВКДАГ создана в Simulink (рис. 4.1, табл. 4.3). ВКДАГ состоит из девяти модулей, интегрирующих МГАППС<sub>К</sub>–МНСДАГ<sub>К</sub> и передающих информацию на МЭССС.

На рис. Г.2 показана часть структурной схемы Simulink виртуального консилиума для диагностики артериальной гипертензии при  $K = 2, 9, 6$ . Блок FMSettings (рис. Г.2) открывает интерфейс *Формы «Структурные элементы системы ВКДАГ»*, с помощью которой пользователь конфигурирует систему, выбирая решаемые подзадачи: «Анализ суточного мониторинга артериального давления» (на рис. Г.2 – блок SMAD), «Распознавание и интерпретация электрокардиограммы» (на рис. Г.2 – блок RECG), «Построение информативного набора признаков (симптомов) при диагностике заболеваний из областей 1–9» (решается посредством генетических алгоритмов, разд. 3.3) и модули подзадач из подмножества «Диагностика критериев оценки сердечно-сосудистого риска и вторичной АГ у пациента» (решаются посредством нечетких систем, разд. 3.1.2).

В структурной схеме (рис. Г.2) для  $K$ -ого модуля имеем: если ППС<sub>К</sub>,  $k = \overline{1,9}$  выбрана для решения, то активируется блок «ГА<sub>К</sub>» (на рис. Г.1 – это GA<sub>К</sub>, на рис. Г.2  $K = 2, 9, 6$ ), с которого передается информация на блок «Модификация интерфейса пользователя» (на рис. Г.1 – это FSS\_setup<sub>К</sub>, на рис. Г.2  $K = 2, 9, 6$ ) в соответствии с результатами решения  $K$ -ой технологической подзадачи из подмножества «Построение информативного набора признаков (симптомов) при диагностике заболеваний из областей 1–9». Он деактивирует параметры на интерфейсе пользователя для ввода новых значений показателей состояния здоровья пациента (на рис. Г.1, Г.2 – блок FMSymptoms) и корректирует работу  $K$ -



ого функционального модуля подзадач  $ДАГ_1, \dots, ДАГ_9$ : диагностики поражений органов-мишеней, факторов риска, и др. (на рис. Г.1 – это блоки DAG1POM, DAG2FR, ... , DAG9RenAG).

Далее активируется блок интерфейса (на рис. Г.1, Г.2 – FMSymptoms) пользователя для ввода симптоматической информации, передаваемой в блоки диагностических подзадач  $ДАГ_1, \dots, ДАГ_9$  из подмножества «Диагностика критериев оценки сердечно-сосудистого риска и вторичной АГ у пациента» (разд. 3.1.2). Последние в свою очередь передают информацию о патологиях у пациента блоку подзадачи ССС «Оценка степени и стадии артериальной гипертензии, степени риска сердечно-сосудистых заболеваний» (на рис. Г.1, Г.2 – FMDiagnose) как результаты моделирования принятия решения кардиологом (в том числе и в качестве ЛПР), неврологом, нефрологом, терапевтом, эндокринологом, урологом. Блок FMDiagnose моделирует принятие решения ЛПР – врачом-кардиологом и открывает интерфейс *Формы «Диагноз»*.

В функциональную структуру ВКДАГ включен блок RECG, передающий информацию (рис. 4.2) на блоки диагностики поражений органов-мишеней (на рис. Г.1 – DAG1POM), цереброваскулярных болезней (DAG3CVB) и ишемической болезни сердца (на рис. Г.1, Г.2 – DAG6IBS). Помимо этого в виртуальном консилиуме есть блок SMAD (рис. Г.1), передающий информацию о нормальных значениях суточного артериального давления на блок подзадачи ССС.

Таким образом, средствами пакета MATLAB–Simulink и оболочки KAPPA PC реализована функциональная структура инструментальной среды «Виртуальный консилиум» на примере диагностики артериальной гипертензии, для чего создана структурная схема в Simulink и разработано программное обеспечение (табл. 4.3).

### **4.3. Методика автоматизированного решения неоднородной задачи диагностики с помощью виртуального консилиума**

Цель методики (рис. 4.3) в практике принятия решения медицинской диагностики – выработать логически упорядоченную совокупность действий в

человеко-машинной системе, когда практикующий врач получает консультации от виртуального консилиума, моделирующего работу коллектива над проблемой.

Методика разработана в соответствии со схемами на рис. 1.1 и рис. 4.2. Из рис. 4.2 видно, что ЛПР-врач определяет состав консилиума посредством определения круга решаемых при диагностике задач. Затем ИС «Виртуальный консилиум» инициализирует рабочую сессию, и медсестра вносит информацию о пациенте (качественную и количественную) посредством форм, содержащих показатели состояния здоровья пациента и соответствующих первым двум этапам обследования в медицинской диагностике (сбор анамнеза, физикальное обследование).

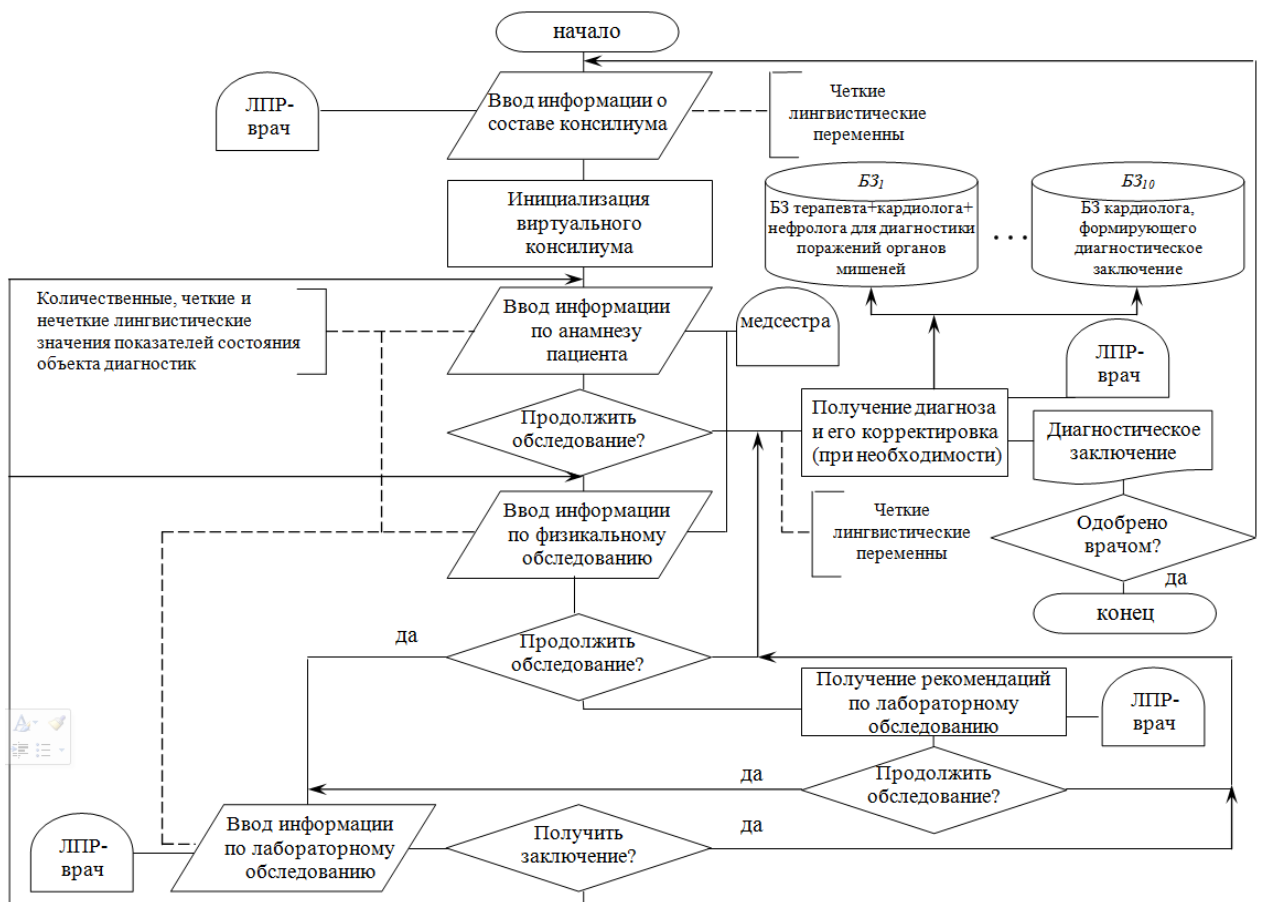


Рисунок 4.2 – Технологическая схема обработки информации консилиумом

По окончании каждого из этапов ввода информации по анамнезу и физикальному обследованию ЛПР-врач может получить предварительный диагноз с распечаткой диагностического заключения и рекомендациями по лабораторному обследованию, а также сохранить симптоматическую информацию и диагноз во внутреннем формате системы для её повторного запуска с уже введенными ранее

данными (при необходимости обследования пациента за более, чем один прием у врача). Аналогичную информацию вносит ЛПР-врач самостоятельно на этапе лабораторного обследования по пришедшим результатам лабораторных тестов. Затем ЛПР-врач может получить окончательный диагноз с распечаткой диагностического заключения.

При переходе к блоку «Получение диагноза и его корректировка (при необходимости)» вся введенная информация обрабатывается системой (посредством баз знаний:  $BZ_1, \dots, BZ_{10}$ ) и формируется диагноз (предварительный или окончательный).

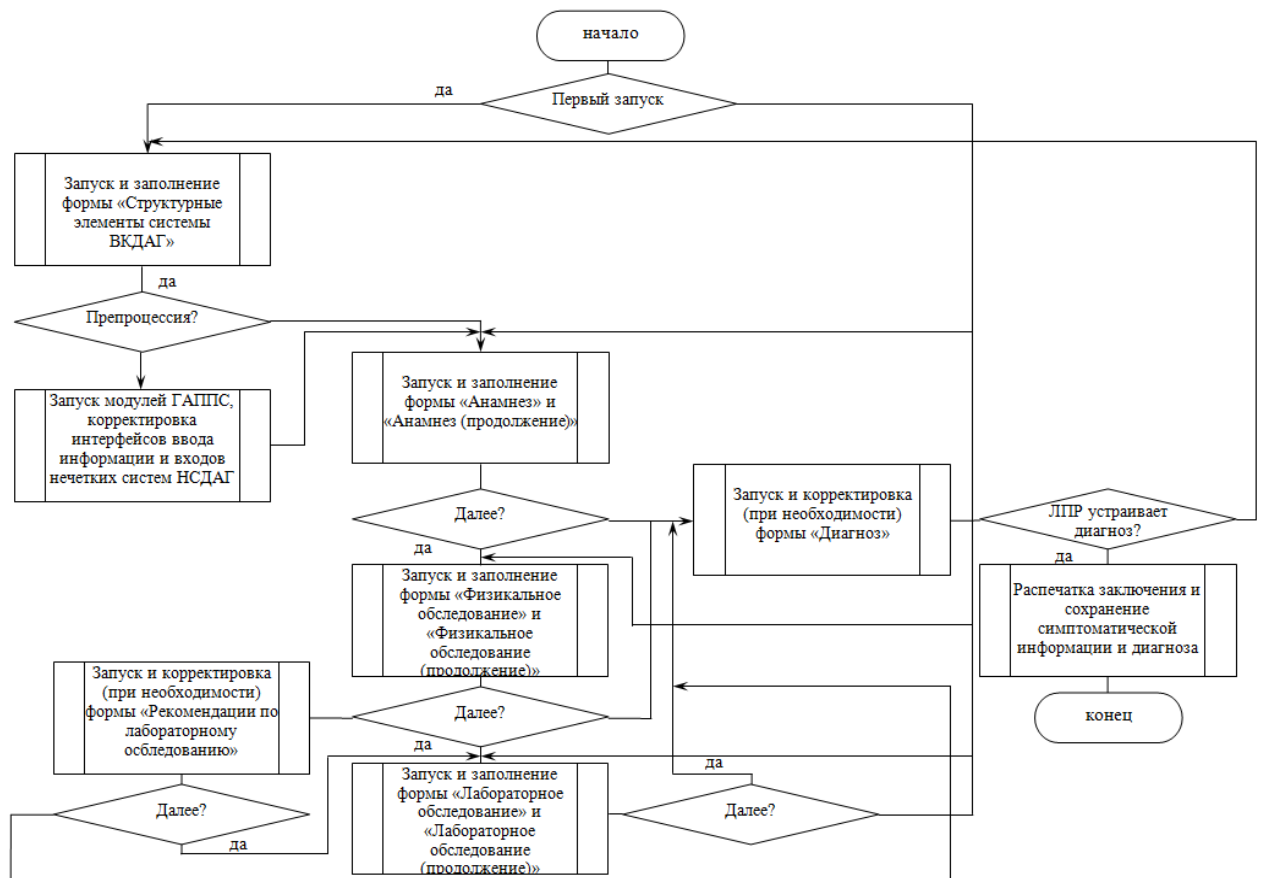


Рисунок 4.3 – Блок-схема алгоритма действий пользователя при диагностике АГ

Таким образом, в соответствии с алгоритмом на рис. 4.3, при использовании программно-технического комплекса ПП ВКДАГ для диагностики АГ у больного пользователем выполняются действия из табл. 4.4.

Если не было изменено значение ни одного показателя состояния здоровья, то система выдаст сообщение об отсутствии артериальной гипертензии у данного пациента, так как значения у показателей состояния здоровья по умолчанию либо

«Отсутствует», либо «0» (для количественных параметров), либо «null» при отсутствии информации.

Таблица 4.4. Действия пользователя при диагностике артериальной гипертензии у больного с использованием программно-технического комплекса ПП ВКДАГ

Наименование действия	Содержание действия	Исполнитель
1	2	3
Первый запуск	Если запуск первый, то переход к действию «Запуск и заполнение формы «Структурные элементы системы ВКДАГ»». Если нет – открывается окно «Открыть файл» и выбирается файл с множеством симптомов, сохраненный на предыдущем приеме. Система запускает форму «Анамнез»	Программно-технический комплекс
Запуск и заполнение формы «Структурные элементы системы ВКДАГ»	Запускается форма для выбора состава модулей консилиума. Информация вводится в форме лингвистических переменных. Если препроцессия состава множества входной информации выбрана, то переход к действию «Запуск модулей МГАППС <sub>1-9</sub> , корректировка интерфейсов ввода информации и входов нечетких систем МНСДАГ <sub>1-9</sub> » (табл. 4.2). Если препроцессия не выбрана, то переход к действию «Запуск и заполнение форм «Анамнез» и «Анамнез (продолжение)»	ЛПР-врач  Программно-технический комплекс
Запуск и заполнение форм «Анамнез» и «Анамнез (продолжение)»	В интерфейс вводится вся информация, собранная в процессе опроса пациента в формате количественных, лингвистических и нечетких лингвистических переменных. При выборе «Далее», переход к вводу информации о пациенте посредством форм «Физикальное обследование» и «Физикальное обследование (продолжение)». В противном случае переход к действию «Запуск и корректировка (при необходимости) формы «Диагноз»» (предварительный диагноз)	Медсестра  Программно-технический комплекс
Запуск и заполнение форм «Физикальное обследование» и «Физикальное обследование (продолжение)»	В интерфейс вводится информация, собранная в процессе прослушивания, простукивания и прощупывания пациента в формате количественных, лингвистических и нечетких лингвистических переменных. При выборе «Далее», переход к вводу информации о пациенте посредством форм «Лабораторное обследование» и «Лабораторное обследование (продолжение)». В противном случае либо переход к действию «Запуск и корректировка (при необходимости) формы «Диагноз»» (предварительный диагноз), либо к действию «Запуск и корректировка (при необходимости) формы «Рекомендации по лабораторному обследованию»»	Медсестра  Программно-технический комплекс

Продолжение табл. 4.4

1	2	3
Запуск и заполнение форм «Лабораторное обследование» и «Лабораторное обследование (продолжение)»	В интерфейс вводится вся информация, собранная в результате лабораторных тестов в формате количественных, лингвистических и нечетких лингвистических переменных. При выборе «Далее», переход к действию «Запуск и корректировка (при необходимости) формы «Диагноз»»	ЛПР-врач/ медсестра  Программно-технический комплекс
Запуск и корректировка (при необходимости) формы «Рекомендации по лабораторному обследованию»	ЛПР-врач может корректировать рекомендации по лабораторному обследованию в формате лингвистических переменных. При выборе «Далее», переход к вводу информации о пациенте посредством форм «Лабораторное обследование» и «Лабораторное обследование (продолжение)». В противном случае переход к действию «Запуск и корректировка (при необходимости) формы «Диагноз»» (предварительный диагноз)	ЛПР-врач  Программно-технический комплекс
Запуск и корректировка (при необходимости) формы «Диагноз»	Все множество симптомов после выполнения всех или части действий: - запуск и заполнение формы «Анамнез» и «Анамнез (продолжение)»; - запуск и заполнение формы «Физикальное обследование» и «Физикальное обследование (продолжение)»; - запуск и заполнение формы «Лабораторное обследование» и «Лабораторное обследование (продолжение)», разбивается перед запуском формы «Диагноз» на подмножества входной информации выбранных (Запуск и заполнение формы «Структурные элементы системы ВКДАГ») функциональных модулей <i>МНСДАГ<sub>1-9</sub></i> , <i>МИНСРЭКГ</i> , <i>МИНСМАД</i> и <i>МЭССС</i> (табл. 4.2), которые затем запускаются и формируют диагноз, отображаемый на форме «Диагноз». Диагноз может быть скорректирован. Если ЛПР-врача устраивает диагноз, то переход к действию «Распечатка заключения и сохранение симптоматической информации и диагноза»	Программно-технический комплекс  Медсестра     ЛПР-врач
Распечатка заключения и сохранение симптоматической информации и диагноза	Исходная информация о симптомах пациента, а также результаты диагностики могут быть сохранены в карту пациента в текстовом файле в формате выписки из стационара как «Диагностическое заключение». Симптоматическая информация и диагноз могут быть сохранены во внутреннем формате системы для запуска сессии для данного больного на повторном приеме	Программно-технический комплекс

Таким образом, настоящая методика описывает все необходимые действия в человеко-машинной системе, когда практикующий врач получает консультации от инструментальной среды «Виртуальный консилиум», моделирующей работу коллектива над проблемой. При этом некоторые из действий могут пропускаться по желанию.

#### 4.4. Базы нечетких знаний для моделирования рассуждений экспертов

Ниже рассмотрены актуальные вопросы определения функций принадлежности показателей состояния здоровья пациента, разработки баз знаний нечетких систем и их подтверждения (на примере диагностики АГ).

В результате редукции неоднородной задачи диагностики артериальной гипертензии в декомпозицию (рис. 2.1) включены и специфицированы (2.6) десять функциональных подзадач:  $ДАГ_{1-9}$  из подмножества «Диагностика критериев оценки сердечно-сосудистого риска и вторичной АГ у пациента» и диагностической подзадачи  $ССС$  «Оценка степени и стадии артериальной гипертензии, степени риска сердечно-сосудистых заболеваний», для которых в качестве метода моделирования определены (табл. 2.2) нечеткие системы и описаны параметры их концептуальных моделей (табл. 3.4, разд. 3.1.2), в частности, функции принадлежности входных переменных и базы знаний.

В Приложении Д приведен пример базы знаний для  $МНСДАГ_1$  (диагностика поражений органов-мишеней).

Функции принадлежности входных лингвистических нечетких переменных построены методом экспертного опроса [123]. Рассмотрим их построение на примере нечетких переменных «боли за грудиной», «боли в животе», «вариабельные боли» (рис. 4.4а). Аналогично построены функции принадлежности всех остальных переменных, например, переменной «частота дыхательных движений» (рис. 4.4б).

Совместно с экспертами задаются два множества: множество термов  $L = \{l_1, \dots, l_m\}$  и универсальное множество  $U = \{u_1, \dots, u_n\}$ :  $U = \{[0,3], [3,5], [5,8], [8,10]\}$ , а  $L = \{\text{«Интенсивные»}, \text{«Умеренные»}, \text{«Слабые»}, \text{«Отсутствуют»}\}$ . Нечеткое множество  $\tilde{l}_j$  для задания лингвистического термина  $l_j$  на универсальном множестве  $U$  представляется в виде:

$$\tilde{l}_j = \left( \frac{\mu_{l_j}(u_1)}{u_1}, \dots, \frac{\mu_{l_j}(u_n)}{u_n} \right), \quad j = \overline{1, m}. \quad (4.1)$$

В ходе исследований определены степени принадлежности элементов множества интервалов  $U$  элементам из множества  $L$ , т.е. найдены  $\mu_{l_j}(u_i)$  для всех  $j$  и  $i$  методом статистической обработки мнений экспертов.

Каждый эксперт заполнял анкету по лингвистическому терму  $l_j$  согласно представлению (4.1), в которой указывал свое мнение о наличии у элементов  $u_i$  свойств нечеткого множества  $\tilde{l}_j$ . Затем на базе анкеты рассчитывалась степень принадлежности по формуле (4.2):

$$\mu_{l_j}(u_i) = \frac{1}{K} \sum_{k=1, K} b_{j,i}^k, \quad (4.2)$$

где  $K$  – количество экспертов;  $b_{j,i}^k$  – мнение  $k$ -ого эксперта о наличии у элемента  $u_i$  свойств нечеткого множества  $\tilde{l}_j$ ,  $i = \overline{1, n}$ . Примем, что экспертные оценки бинарные, т.е.  $b_{j,i}^k \in \{0, 1\}$ .

В табл. 4.5 представлены результаты анкетирования экспертов, а в табл. 4.6 – обработки мнений экспертов по формуле (4.2).

Таблица 4.5 – Результаты опроса экспертов

Номер эксперта	Терм	[0,3)	[3,5)	[5,8)	[8,10]
1	Интенсивные	0	0	0	1
	Умеренные	0	1	1	0
	Слабые	1	0	0	0
	Отсутствуют	1	0	0	0
2	Интенсивные	0	0	0	1
	Умеренные	0	0	1	0
	Слабые	0	1	0	0
	Отсутствуют	1	0	0	0
3	Интенсивные	0	0	1	1
	Умеренные	0	1	1	0
	Слабые	1	1	0	0
	Отсутствуют	1	0	0	0
4	Интенсивные	0	0	1	1
	Умеренные	0	0	1	0
	Слабые	1	1	0	0
	Отсутствуют	1	0	0	0
5	Интенсивные	0	0	0	1
	Умеренные	0	1	1	0
	Слабые	0	1	0	0
	Отсутствуют	1	0	0	0

Таблица 4.6 – Результаты обработки мнений экспертов

Терм	[0,3)	[3,5)	[5,8)	[8,10]
Интенсивные	0	0	2	5
	0	0	0,4	1
Умеренные	0	3	5	0
	0	0,6	1	0
Слабые	3	4	0	0
	0,6	0,8	0	0
Отсутствуют	5	0	0	0
	1	0	0	0

Числа над линией (табл. 4.6) соответствуют числу голосов, отданных экспертами за принадлежность нечеткому множеству соответствующего элемента универсального множества, а под линией – степени принадлежности, рассчитанные по формуле (4.2).

Затем строятся функции принадлежности ( $\mu(u_{cp})$ ) (рис. 4.4а).

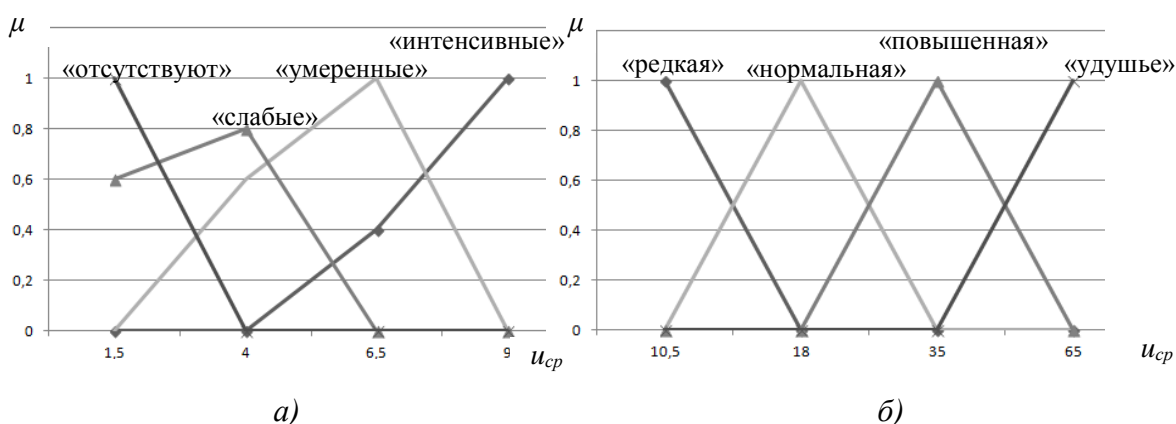


Рисунок 4.4 – Функции принадлежности термов нечетких переменных:

а) «боли за грудиной», «боли в животе», «вариабельные боли»;

б) «частота дыхательных движений»

Результат разработки функций принадлежности: в нечетких системах используется два типа функций (рис. 4.4) – сигмоидная  $\mu(u) = 1/(1 + \exp(-a(u - c)))$ , где  $a$  – коэффициент крутизны,  $c$  – координата перехода через 0,5, и треугольная:

$$\mu(u) = \begin{cases} 0, & \text{если } u \leq a \text{ или } u \geq c, \\ (u - a)/(b - a), & \text{если } a < u \leq b, \\ (c - u)/(b - c), & \text{если } b < u < c, \end{cases}$$

где  $(a, c)$  – носитель нечеткого множества,  $b$  –

координата максимума.



Параметры функций принадлежности лингвистических переменных: за грудиной боли, боли в животе, переменные боли с термами – интенсивные, умеренные, слабые или отсутствуют (функции принадлежности показаны на рис. 4.4а), и частота дыхательных движений с термами редкая, нормальная, повышенная, удушье (функции принадлежности показаны на рис. 4.4б), представленных на рис. 4.4: терм интенсивные – треугольная с параметрами  $a = 4$ ,  $c = 9$ ,  $b = 9$ ; терм «умеренные» – треугольная с параметрами  $a = 1.5$ ,  $c = 4$ ,  $b = 9$ ; терм «слабые» – функция принадлежности в виде разности двух сигмоидных функций с параметрами  $a_1 = 1.5$ ,  $c_1 = 1.124$ ,  $a_2 = 2.75$ ,  $c_2 = 5.25$ ; терм «отсутствуют» – треугольная с параметрами с параметрами  $a = 1.5$ ,  $c = 1.5$ ,  $b = 4$ ; терм «редкая» – треугольная с параметрами  $a = 10.5$ ,  $c = 10.5$ ,  $b = 18$ ; терм «нормальная» – треугольная с параметрами  $a = 10.5$ ,  $c = 18$ ,  $b = 35$ ; терм «повышенная» – треугольная с параметрами  $a = 18$ ,  $c = 35$ ,  $b = 65$ ; терм «удушье» – треугольная с параметрами  $a = 35$ ,  $c = 65$ ,  $b = 65$ .

Функции принадлежности входных переменных с термами «истина» (*true*) и «ложь» (*false*) определялись по Балдвину [123]:  $\mu_{true}(u) = u$  и  $\mu_{false}(u) = 1 - u$ , где  $u \in [0,1]$ .

Базы знаний эквивалентны базе знаний Такаги-Сугено нулевого порядка [123], в которой коэффициенты при входных переменных в линейных законах «входы – выход» равны нулю. В синглтонных базах знаний нет весовых коэффициентов, так как они были бы линейно зависимы с заключениями правил.

В [122] упоминается около 15 ручных (неавтоматизированных) методов извлечения и более 20 автоматизированных методов приобретения и формирования знаний. Пространства входов, выходов и база знаний (табл. 3.4) для каждой нечеткой системы: 1) формируются посредством текстологических методов – анализа документов, регламентирующих процесс диагностики и постановки диагноза АГ [75, 79–86], а также по результатам свободного диалога – анализа бесед с экспертом КОКБ; 2) для каждой нечеткой системы занесены в компьютер с помощью стандартных средств MATLAB (Fuzzy Logic Toolbox).

Предварительно базы знаний формировались в текстовом виде в процессе обработки совместно с экспертом Калининградской областной клинической больницы документов, регламентирующих процесс диагностики артериальной

гипертензии [75, 79–86]. Затем каждое из правил подтверждалось экспериментальными данными, извлеченными из трудночитаемых, рукописных медицинских карт архива областной больницы (рис. 4.5).

Так как каждая карта стационарного пациента больницы представляет собой набор протоколов его обследования различными врачами в сочетании с заключительным диагнозом лечащего врача данного пациента, то множество отобранных карт содержало всю информацию, необходимую для баз знаний каждой нечеткой модели системы. Обработано около 500 карт.

Результаты обработки и сопоставления с правилами баз знаний были сведены в таблицы со структурой (например, Приложение Д – таблица для базы знаний модели нечеткой системы диагностики поражений органов-мишеней): «номер правила – правила диагностической нечеткой базы знаний модели <наименование нечеткой модели> – номера медкарт из множества отобранных для экспериментов, подтверждающих факт использования правила».

**Медицинская карта №\_\_ стационарного больного**

Дата и время поступления _____ Отделение _____ Палата № _____ Вид транспортировки _____ Группа крови _____ Резус-принадлежность _____ «ЛИЧНАЯ ИНФОРМАЦИЯ» Диагноз направившего учреждения _____ Диагноз при поступлении _____ Диагноз клинический _____ Диагноз заключительный клинический _____ Осложнения основного диагноза _____ Сопутствующий диагноз _____	<b>ОСМОТР ВРАЧА ТЕРАПЕВТИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ</b> Дата и время _____ ФИО больного _____ ФИО _____ врача _____ «Анамнез» _____ «Данные объективного обследования» Диагноз _____ План обследования _____ Лечение _____
<b>«ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КРОВИ И МОЧИ»</b> Выписка из истории болезни ФИО _____ Адрес _____ Место работы _____ Дата поступления _____ Дата выписки _____ Клинический диагноз _____ Сведения из анамнеза _____ «ОБСЛЕДОВАНИЯ» Консультации специалистов _____ Лечение _____	<b>ОСМОТР ВРАЧА НЕВРОЛОГА</b> Дата и время _____ <b>ОСМОТР ВРАЧА ЭНДОКРИНОЛОГА</b> Дата и время _____ <b>ОСМОТР ВРАЧА НЕФРОЛОГА</b> Дата и время _____ <b>ОСМОТР ВРАЧА СОСУДИСТОГО ХИРУРГА</b> Дата и время _____
	<b>ОТДЕЛЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКИ</b> Дата и время _____ ФИО больного _____ ФИО _____ врача _____ «Данные УЗИ» «...» «Данные УЗД» «Данные ЭКГ» Заключение _____

Рисунок 4.5 – Структура медицинской карты стационарного больного

Таким образом, пространства входов и выходов и база знаний для каждой нечеткой системы сформированы по результатам текстологического анализа рекомендаций комитета экспертов ВНОК по диагностике и лечению АГ [75], исследований Е. O'Brien и J.Staessen [121] и результатам анализа бесед с экспертом КОКБ и анализа медицинских карт её архива.

## 4.5. Выводы

В четвертой главе представлены результаты разработки функциональной структуры виртуального консилиума для диагностики, отвечающей требованиям, сформулированным на основе анализа концептуальной модели неоднородной задачи диагностики (рис. 1.1, (1.1)): 1) модульность; 2) гибкость алгоритма диагностики в зависимости от диагностической ситуации; 3) наличие библиотеки модулей, решающих подзадачи определения состояния здоровья экспертами и технологические подзадачи снижения размерности множества учитываемых при диагностике факторов; 4) модель ЛПР-кардиолога, формирующего заключительный диагноз.

Представленная функциональная структура инструментальной среды «Виртуальный консилиум» с интерфейсами пользователя (рис. В.1–В.9, Приложение В) инициализирована на ЭВМ средствами пакета MATLAB–Simulink (рис. Г.1, рис. Г.2 в Приложении Г) и оболочки KARPA PC.

Разработана методика решения неоднородной задачи диагностики с помощью виртуального консилиума в соответствии с концептуальной моделью диагностического процесса в медицине и технологической схемой обработки информации консилиумом. Методика предусматривает все возможные варианты действий пользователя.

Разработаны базы знаний модулей десяти функциональных диагностических подзадач из декомпозиции неоднородной задачи диагностики (на примере диагностики артериальной гипертензии), для которых в качестве метода моделирования знаний экспертов были определены и описаны нечеткие системы Такаги-Сугено (разд. 3.1.2). Функции принадлежности входных лингвистических переменных построены методом экспертного опроса.

Базы знаний (например, в Приложении Д) сформированы совместно с экспертами Калининградской областной клинической больницы в процессе диалога, а также в процессе изучения рекомендаций, регламентирующих процесс диагностики артериальной гипертензии. Правила подтверждены экспериментальными данными, извлеченными из 500 трудночитаемых, рукописных, медицинских карт архива Калининградской областной клинической больницы.

## ГЛАВА 5. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ СРЕДЫ «ВИРТУАЛЬНЫЙ КОНСИЛИУМ» ДЛЯ РЕШЕНИЯ НЕОДНОРОДНОЙ ЗАДАЧИ ДИАГНОСТИКИ

### 5.1. Исследование неоднородной задачи диагностики в лечебно-профилактическом учреждении

Диагностический процесс и инструментальная среда «Виртуальный консилиум» исследовались в двух видах лечебно-профилактических учреждений (на примере диагностики артериальной гипертензии): в многопрофильном больничном учреждении – Калининградской областной клинической больнице (объект исследований – медицинский консилиум как естественная гетерогенная система поддержки принятия решений при диагностике АГ у пациента – коллективное принятие решения) и в амбулаторно-поликлиническом учреждении – Диагностическом центре при КОКБ (индивидуальное принятие решения врачом-терапевтом, врачом общей практики или врачом-кардиологом часто без опыта работы). В соответствии с концептуальной моделью диагностического процесса в медицине (рис. 1.1) выявлены и исследованы объекты, субъекты, ресурсы и средства диагностики (рис. 5.1).

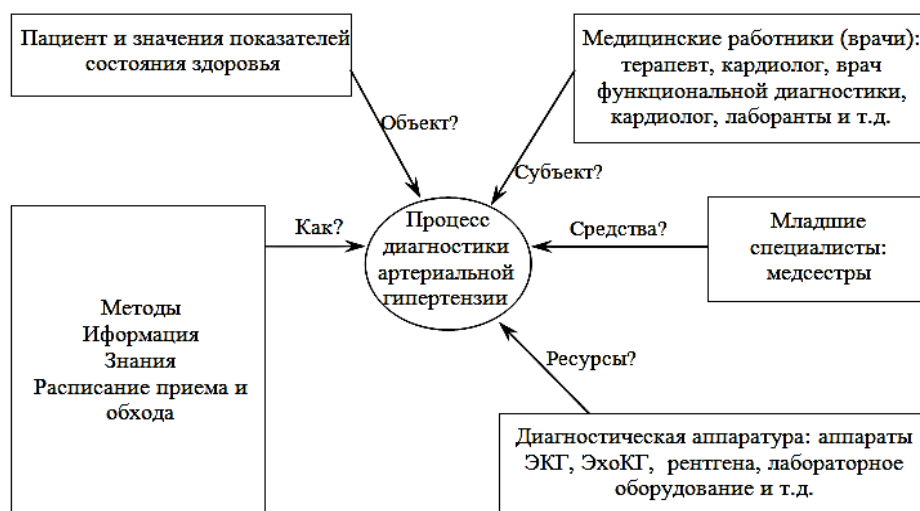


Рисунок 5.1 – Объекты, субъекты и ресурсы процесса диагностики артериальной гипертензии в Калининградской областной клинической больнице

Объекты процесса диагностики АГ – пациент и значения показателей состояния его здоровья (табл. 5.1). Субъекты процесса диагностики, медицинские работники, врачи-эксперты (табл. 5.2) – носители теоретических, профессиональных знаний и опыта в диагностике артериальной гипертензии.

Таблица 5.1 – Характеристика пациента, диагностируемого в Диагностическом центре Калининградской областной клинической больницы на предмет артериальной гипертензии

Этап обследования	Наименование показателя состояния здоровья	Множество значений
1	2	3
Сбор анамнеза	Пол	м/ж
	Семейный анамнез ранних сердечно-сосудистых заболеваний: (ишемическая болезнь сердца, ревмокардит и т.д.)	есть/нет
	В анамнезе: аденома предстательной железы	
	В анамнезе: аменорея или импотенция	
	В анамнезе: аномалии развития почек и мочевых путей	
	В анамнезе: инфаркт	
	В анамнезе: сахарный диабет	
	В анамнезе: нефроптоз	
	В анамнезе: низкая толерантность к глюкозе	
	Непродуктивный кашель	интенсивный, умеренный, отсутствует
	Цвет мочи	нормальный, красноватая, красная, цвет мясных помоев
	Мочеиспускание	высокое, повышенное, нормальное, пониженное
	Боли за грудиной или/и в груди	интенсивные, умеренные, слабые, отсутствуют
	... (описание болей, особенностей мочи, неврологических симптомов, слабости и т.д.) ...	количественные, лингвистические и нечеткие переменные
Физикальное обследование	Цвет лица	синюшное, бледное, бледное с желтовато-серым оттенком, полнокровное, красное сизое, багрово-синюшное
	Волосистой покров кожи лица и конечностей	избыточный, средний, нормальный, сниженный
	Телосложение	астеническое, нормостеническое, гиперстеническое
	Отеки на лице	есть/нет
	Цианоз губ	
	Пигментация век	
	... (описание особенностей лица и головы, тела и кожи, пальцев на руках и на ногах, мышц и т.д.) ...	количественные, лингвистические и нечеткие переменные

Продолжение табл. 5.1

1	2	3
Лабораторное и функциональное обследование	Анализ крови (общий, биохимия, ...)	количественные, лингвистические и нечеткие переменные
	Анализ мочи (общий, альбумин, ванилин-миндальная кислота, ...)	
	Скорость клубочковой фильтрации	понижено, среднее м, среднее ж, норма м, норма ж, повышено м, повышено ж
	Клиренс креатинина	низко, понижено, норма, повышено
	Положительный тест на подавляемость функции надпочечников	есть/нет
	Положительная реакция на фентоламин	
	Внутривенная урография (нарушение выделения почкой рентгеноконтрастного вещества, дефект заполнения почечной лоханки и мочеточника, ...)	
	ЭКГ (низкий вольтаж зубцов, желудочковые экстрасистолы, корнельское произведение, ...)	количественные, лингвистические и нечеткие переменные
	ЭхоКГ (зоны акинеза миокарда, время изоволюмического расслабления, ...)	
	УЗИ (деформация чашечно-лоханочной системы, камни в почках, ...)	
	Рентген (гидроторакс, увеличено сердце, ...)	

В процессе диагностики АГ у пациента Диагностического центра КОКБ врач оперирует примерно 800 значениями показателей состояния здоровья больного (симптомами) в условиях недостатка времени, обусловленного расписанием приема и обхода пациентов (табл. 5.2): около 60 параметров количественных, измеряемых; около 200 – с лингвистической неопределенностью и многозначностью; еще около 180 показателей – пропозициональные переменные. Задача имеет сложный характер и состоит в анализе сгруппированных в несколько областей параметров состояния здоровья пациента (разд. 2.2 – детерминированные, лингвистические и лингвистические нечеткие переменные). Это требует её более глубокого изучения и понимания, применения двухуровневой модели «неоднородной задачи» (рис. 1.2) и упорядоченной по этапам совокупности методов системного анализа проблемно-структурной методологии ГиИС (рис. 1.4).

Разработка СППР как искусственных гетерогенных систем позволит обеспечить переход к клинической дифференциальной диагностике при тысячах патологических признаков и сократить степень риска ошибочных диагностических решений [146].

Таблица 5.2 – Характеристика загруженности медицинских работников Диагностического центра и Калининградской областной клинической больницы, принимающих участие в процессе диагностики артериальной гипертензии

Этап обследования	Должность	Наименование критерия	Значение
1	2	3	4
В амбулаторно-поликлиническом учреждении, в частности в Диагностическом центре КОКБ			
Врачи узкой специализации		Укомплектованность (штата врачей)	Частичная – часто Полная – редко
		Количество приемных часов за неделю	Избыток – отсутствует Норма – редко Недостаток – часто
Сбор анамнеза	Медсестра, врач общей практики/ терапевт/ кардиолог	Опыт работы	Менее 5 лет – часто (касательно кардиолога) 5 – 10 лет – редко Более 10 лет – часто
Физикальное обследование			
Лабораторное обследование	Сотрудники лаборатории, врач функциональной диагностики, врач общей практики/ терапевт/ кардиолог		
В многопрофильном больничном учреждении Калининградской областной клинической больницы			
Врачи узкой специализации		Укомплектованность (штата врачей)	Частичная – редко Полная – часто
		Количество приемных часов за неделю	Избыток – отсутствует Норма – часто Недостаток – редко
Сбор анамнеза	Лечащий врач-кардиолог, врачи узкой специализации (невролог, эндокринолог и т.д.)	Опыт работы	Менее 5 лет – редко (консультации с более опытным сотрудником имеют место) 5 – 10 лет – часто Более 10 лет – часто
Физикальное обследование			
Лабораторное обследование	Лечащий врач-кардиолог, врачи узкой специализации (невролог, эндокринолог и т.д.), сотрудники лаборатории, врач функциональной диагностики		

Анализ диагностического процесса (табл. 5.1, 5.2) выявил проблемы, связанные с участниками процесса диагностики (на примере диагностики АГ) в поликлиническом ЛПУ, в частности в Диагностическом центре КОКБ: 1) трудности с контролем развития АГ у населения; 2) недостаток опыта ЛПР (врача) и его недостаточная реакция на повышение артериального давления у пациента не на приеме; 3) неуверенность врача в степени риска при высоком АД из-за страха снижения кровообращения у пациента и опасения побочных эффектов [79]; 4) недостаток времени для приема пациента врачом.

Процесс диагностики АГ [12] в Калининградской областной клинической больнице (рис. 5.2а) и Диагностическом центре КОКБ (рис. 5.2б) был исследован в соответствии с концептуальной моделью диагностического процесса (рис. 1.1).

Лечащий врач-кардиолог, вырабатывает диагноз (рис. 5.2а). Пациент (больной) характеризуется множеством симптомов (табл. 5.1). При сборе анамнеза и физикальном обследовании информация по симптомам заносится в «Медицинскую карту стационарного больного».

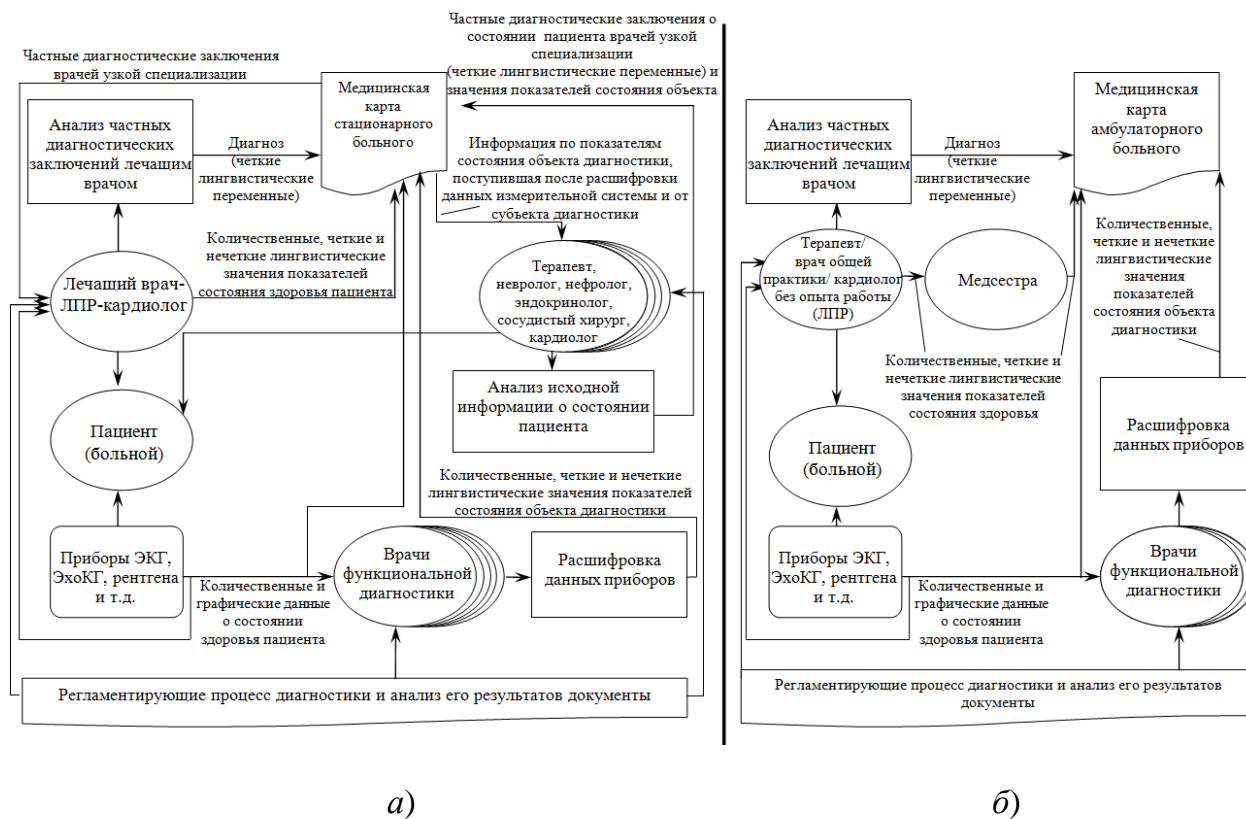


Рисунок 5.2 – Концептуальная модель процесса диагностики артериальной гипертензии в многопрофильном стационарном больничном учреждении (а) и в амбулаторно-поликлиническом учреждении (б)

Оказалось, что для формирования полного дифференциального диагноза АГ в экспериментальном исследовании, проведенном в стационарном больничном учреждении, привлекаются не менее тринадцати врачей-экспертов, включая ЛПР-кардиолога, – носителей знаний из различных разделов медицины. Для дальнейших исследований были выбраны шесть врачей-экспертов разной специализации (на рис. 5.2а – терапевт, невролог, нефролог, эндокринолог, сосудистый хирург, кардиолог), решающих двенадцать функциональных подзадач (рис. 2.1), которые возникают в 90% случаев диагностики АГ. Каждый из врачей-экспертов самостоятельно и/или на основе информации от другого врача, отраженной в «Медицинской карте стационарного больного», формирует промежуточные



заклучения о состоянии объекта диагностики в своей области медицинских знаний.

При лабораторно-инструментальном обследовании множество симптомов в «Медицинской карте стационарного больного» пополняется результатами измерительной системы (электрокардиографы, суточные мониторы артериального давления и т.д.) после расшифровки (при необходимости) врачами функциональной диагностики.

Полученные исходные данные об объекте диагностики разнородны: измерения дают количественные и визуально-графические параметры (детерминированные переменные). От ЛПР и врачей-экспертов данные поступают в формате количественных, лингвистических и нечетких лингвистических переменных.

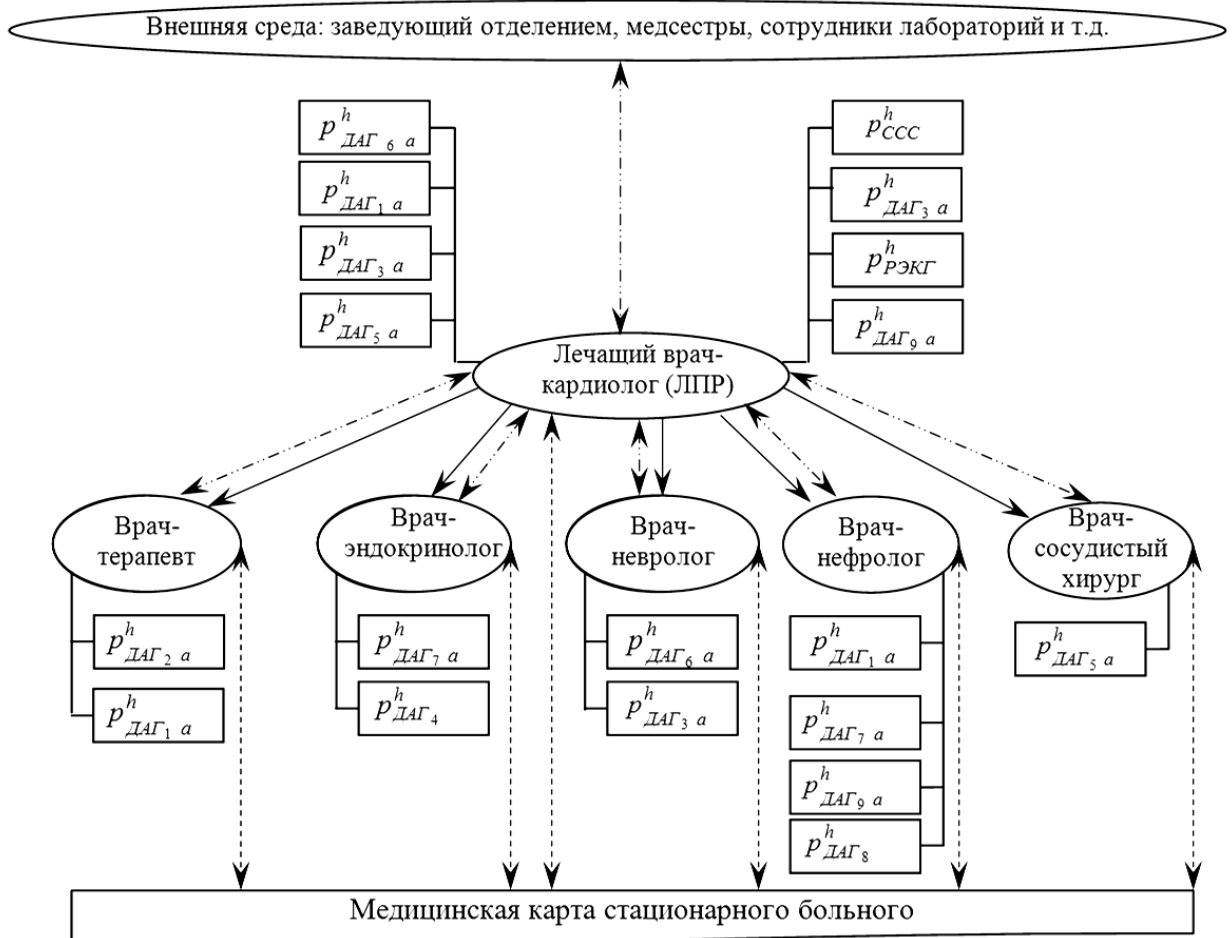
ЛПР изучает в медицинской карте симптомы и частные диагностические мнения врачей-экспертов, множество которых подбирает сам, и ставит заключительный диагноз. ЛПР и каждый из врачей-экспертов самостоятельно обследуют пациента и формируют диагностические заключения согласно нормативным документам, например – [75, 79–86].

В ЛПУ поликлинического характера (рис. 5.2б) ЛПР – это врач общей практики или терапевт (иногда кардиолог, но зачастую без опыта работы). Здесь врач выступает одновременно в роли врача-ЛПР и врачей-экспертов узкой специализации.

Исследования диагностического процесса на материалах поликлинического лечебно-профилактического учреждения – Диагностического центра Калининградской областной клинической больницы по модели на рис. 5.2 и [146] показали, что 70% пациентов амбулаторно-поликлинического учреждения с АГ не знают о своем заболевании, в то время как в стационарных медицинских учреждениях (рис. 5.2а) практически в 100% случаев имеет место как адекватное проведение, так и отображение в медицинских картах данных анамнеза и физикального обследования с подтверждением диагноза лабораторно-инструментальными методами исследования. В этой связи предложено повысить эффективность и качество индивидуальных диагностических решений в ЛПУ поликлинического типа (рис. 5.2б) внедрением информационной технологии

«Виртуальный консилиум», моделирующей коллективное обсуждение, обладающее синергией, опытом и знаниями в решении подзадач диагностики АГ в стационаре (рис. 5.2a).

Применение модели ВКДАГ для диагностики артериальной гипертензии в ЛПУ поликлинического типа – интерпретация модели коллективного принятия решения в малых группах (рис. 1.2) для ситуации диагностики АГ с привлечением знаний шести врачей узкой специализации (рис. 5.3).



Обозначения:

$P_{РЭКГ}^h, P_{СМАД}^h, P_{ССС}^h, P_{ДАГ_{1-9}}^h$  – диагностические подзадачи «Распознавание и интерпретация электрокардиограммы», «Анализ суточного мониторинга артериального давления», «Оценка степени и стадии артериальной гипертензии, степени риска сердечно-сосудистых заболеваний» и из подмножества «Диагностика критериев оценки сердечно-сосудистого риска и вторичной артериальной гипертензии у пациента», соответственно;  $\leftarrow \cdot \cdot \rightarrow$  – отношения дополнительности;  $\longleftrightarrow$  – отношения сотрудничества;  $\leftarrow - \rightarrow$  – запись и чтение множества симптомов и диагностического заключения

Рисунок 5.3 – Концептуальная модель консилиума врачей стационара многопрофильного больничного учреждения, как СППР для диагностики артериальной гипертензии

Полнота диагностического заключения в данном случае равносильна формату клинического эпикриза (в ЛПУ стационарного типа формулируется в истории болезни, медицинской карте стационарного больного), содержащего сведения о природе, сущности, основных проявлениях и течении болезни.

Система гетерогенной диагностики АГ (рис. 5.3) способна динамично синтезировать над гетерогенным модельным полем (рис. 3.1) новый метод выработки индивидуального диагностического заключения для каждого объекта диагностики («Интерфейс модификации структуры ВКДАГ» на рис. 4.1) и применять его для подготовки рекомендаций лицу, принимающему решение.

Таким образом, исследования проблемной среды (2.3) диагностики артериальной гипертензии (табл. 5.1–5.2, рис. 5.2б) показали, что диагностические ситуации и накопленные в теоретической и практической медицине знания об АГ гетерогенны, что проявляется:

1. В существенном разнообразии охватываемых при диагностике артериальной гипертензии областей медицинских знаний (кардиология, эндокринология, офтальмология, терапия, неврология и т.д.);
2. В значительном объеме информации (около 800 параметров состояния больного);
3. Присутствием в рассуждениях НЕ-факторов А.С. Нариньяни [69] (неполнота, неточность, недоопределенность анатомических, физиологических и патологических характеристик пациента);
4. В количественных, качественных, графических данных (электрокардиограмм, эхокардиограмм, рентгеновских снимков и др.).

Врач с опытом работы до 5 лет и тем более начинающий врач не в состоянии оценить и использовать при постановке диагноза такой объем разнообразной информации. Как следствие, неоднородная задача диагностики требует коллективных усилий и междисциплинарных инструментариев.

Проблемная среда диагностики АГ характеризуется также:

1. Отсутствием стандартизации в терминологии, формате и параметрических шкалах измерительного диагностического оборудования;
2. Необходимостью в организации записей для каждого пациента индивидуально, динамично – отсюда не существует одного единственного,

применимого в любой ситуации метода диагностики, он должен быть всякий раз предварительно синтезирован сообразно специфическим характеристикам пациента и имеющейся аппаратуры, а затем уже применен;

3. Отсутствием применения в широкой клинической практике мобильных комплексов диагностических систем, оснащенных современной измерительной аппаратурой и системами поддержки принятия решений, которые врач мог бы использовать индивидуально, сообразно своим теоретическим, профессиональным знаниям и опыту;
4. Несовершенством методов и средств медицинской информатики для консультаций врача, вырабатывающего диагноз АГ в условиях ограниченности ресурсов, недостатка времени, дефицита экспертов, неопределенности информации об окружающем мире и исследуемом пациенте.

## **5.2. Цели и задачи экспериментов с инструментальной средой «Виртуальный консилиум»**

Экспериментальное лабораторное исследование (разд. 5.3, 5.4) программной реализации исследовательского прототипа гибридной интеллектуальной системы ВКДАГ для поддержки принятия диагностических решений необходимо для подтверждения релевантности теоретических положений диссертационной работы, разработанных моделей (разд. 3.1, разд. 3.3) и методики применения ПП ВКДАГ (разд. 4.3) в реальной ситуации диагностики артериальной гипертензии в лечебно-профилактических учреждениях поликлинического типа.

Сформулируем цели экспериментов с ИС «Виртуальный консилиум» (тринадцатый этап ПС-методологии, рис. 1.4):

1. Исследовать качество работы каждой модели гетерогенного модельного поля (рис. 3.1), чтобы принять решение о последующем включении их в интегрированную модель;
2. Исследовать качество интегрированных моделей, синтезированных ИС, которые моделируют коллективные рассуждения специалистов при

постановке диагноза, чтобы экспериментально подтвердить релевантность основных теоретических положений диссертационной работы.

Задачи экспериментов:

1. Определить критерии тестирования моделей ГМП и вычислить ошибки их автономной работы;
2. Определить критерии тестирования интегрированных моделей ВКДАГ и план проведения экспериментов;
3. Установить, с какой ошибкой модели ГМП, релевантные по отдельности, будут работать совместно через межмодельные интерфейсы, обмениваясь информацией между собой для заключительного диагноза при различных их комбинациях, в сравнении с качеством диагностики в стационарном больничном учреждении;
4. Проверить и отработать действия инженерной методики автоматизированного решения неоднородной задачи диагностики.

Для решения первой задачи экспериментов необходима информация о множествах параметров функциональных (разд. 3.1) и технологических (разд. 3.3) моделей гетерогенного модельного поля ВКДАГ (рис. 3.1), созданных по выбранным методологиям решения (разд. 2.4) диагностических подзадач.

Результат решения первой задачи – множество критериев оценки функциональных моделей знаний врачей-экспертов и технологических моделей, сокращающих количество факторов, учитываемых в диагностической ситуации. Множества формируются на основе принятых критериев для тестирования качества работы моделей, спроектированных в рамках соответствующей методологии решения каждой подзадачи – искусственных нейронных сетей, нечетких систем, генетических алгоритмов или экспертных систем.

Чтобы установить, с какой погрешностью работают отдельные модели ГМП автономно, необходима информация по их инициализации в среде MATLAB–Simulink (табл. 4.4, разд. 4.2) и оболочке KAPPA PC. Анализ выявил параметры тестирования всех моделей в среде MATLAB–Simulink/ оболочке KAPPA PC и их значения и позволил оценить ошибку работы каждой модели и возможность их включения в ГМП виртуального консилиума.

Для того чтобы определить критерии оценки интегрированных моделей ВКДАГ, проанализированы:

1. Функциональная структура ГиИС для решения НЗДАГ (разд. 4.1);
2. Описание функциональной структуры ГиИС (3.7), дополненное интерфейсами пользователя (рис. 4.1, табл. 4.1, табл. 4.3) в определенном декомпозицией (2.7) порядке;
3. Схема (рис. 3.7), описывающая относительность знаний «эксперт–ЛПР» и отношения дополнительности взаимодействия всех 12 функциональных моделей гетерогенного модельного поля ((3.1), (3.3), (3.5), рис. 3.1), решающих подзадачи из декомпозиции НЗДАГ (рис. 2.1);
4. Особенности процесса диагностики в ЛПУ широкого профиля амбулаторно-поликлинического (рис. 5.2а) и стационарного больничного учреждения (рис. 5.2б).

В результате анализа выявлено множество критериев оценки и определен план экспериментов, который позволил проверить работу интегрированных моделей ВКДАГ при различных комбинациях моделей ГМП применительно к разным ситуациям решения НЗДАГ.

Для решения двух последних задач экспериментов проанализирована информация по функциональной структуре инструментальной среды «Виртуальный консилиум» (рис. 4.1, табл. 4.1) и её реализации в пакете MATLAB–Simulink/ оболочке КАРРА РС (табл. 4.3, разд. 4.2), схема (рис. 3.7), описывающая взаимодействие функциональных моделей гетерогенного модельного поля ((3.1), (3.3), (3.5), рис. 3.1), а также сам план проведения экспериментов.

В результате анализа:

1. Выделены параметры тестирования качества интегрированных моделей и их значения;
2. Определено эталонное множество результатов, которым по окончании экспериментов поставлено в соответствие множество значений.

Обработка последних позволила сделать заключение о релевантности работы интегрированных моделей, синтезируемых виртуальным консилиумом, и методики его применения (разд. 4.3) реальной ситуации диагностики АГ стационарного больничного учреждения.

### 5.3. Тестирование качества моделей знаний врачей-экспертов, включенных в гетерогенное модельное поле виртуального консилиума

В разделе 3.1 разнообразие, относительность и дополнительность знаний экспертов, решающих неоднородную задачу диагностики, моделируются ГМП (рис. 3.1). Спроектированы 23 однородные модели: функциональные – ((3.1), (3.3), (3.5) и технологические – (3.9), для 21 подзадачи из декомпозиции неоднородной задачи диагностики артериальной гипертензии (рис. 2.1).

В разделе 2.4 было установлено, что для решения подзадач  $p_{СМАД}^h$  «Анализ суточного мониторирования АД» и  $p_{ССЗ}^h$  «Оценка степени и стадии АГ, степени риска ССЗ» необходимо разрабатывать по две модели –  $\{mod_n_{СМАД}, mod_e_{СМАД}\}$  и  $\{mod_f_{ССЗ}, mod_e_{ССЗ}\}$  соответственно. Здесь  $n$  – искусственные нейронные сети,  $e$  – экспертные системы,  $f$  – нечеткие системы. Альтернативность инструментариев в ГМП устранена на этапе синтеза метода решения задачи НЗДАГ (12-ый этап ПС-методологии, рис. 1.4) в разд. 3.2 – отобрана 21 модель. В экспериментах с ГМП тестировалась каждая его составляющая автономно, и её вход не обуславливался выходом других элементов поля.

Тестовые наблюдения — множество значений характеристик и частные мнения специалистов узкого профиля касательно промежуточных диагностических заключений. Извлекались из протоколов осмотров врачами разного профиля в медицинских картах стационарных больных Калининградской областной клинической больницы. В каждой из моделей использовались знания, полученные от одного до трех врачей.

Параметры и результаты тестирования качества моделей [10] сведены в табл. 5.3–5.6.

Для модели *МИНСРЭКГ* (табл. 3.1) – искусственной нейронной сети, «читающей» электрокардиограммы эмпирически подобрано число нейронов в скрытом слое каждого из модулей.

Поскольку чувствительность ( $Sen$ ) и специфичность ( $Sp$ ) – меры достоверного обнаружения патологий и уверенности в их отсутствии соответственно, то в идеале

они должны быть близки к единице, а разность между ними стремиться к нулю. Отсюда значения для числа нейронов в скрытых слоях модулей выбраны так, чтобы разница между  $Sen$  и  $Sр$  была минимальной; либо если разница ( $Sen - Sp$ ) одинакова, то была бы минимальной ошибка обучения.

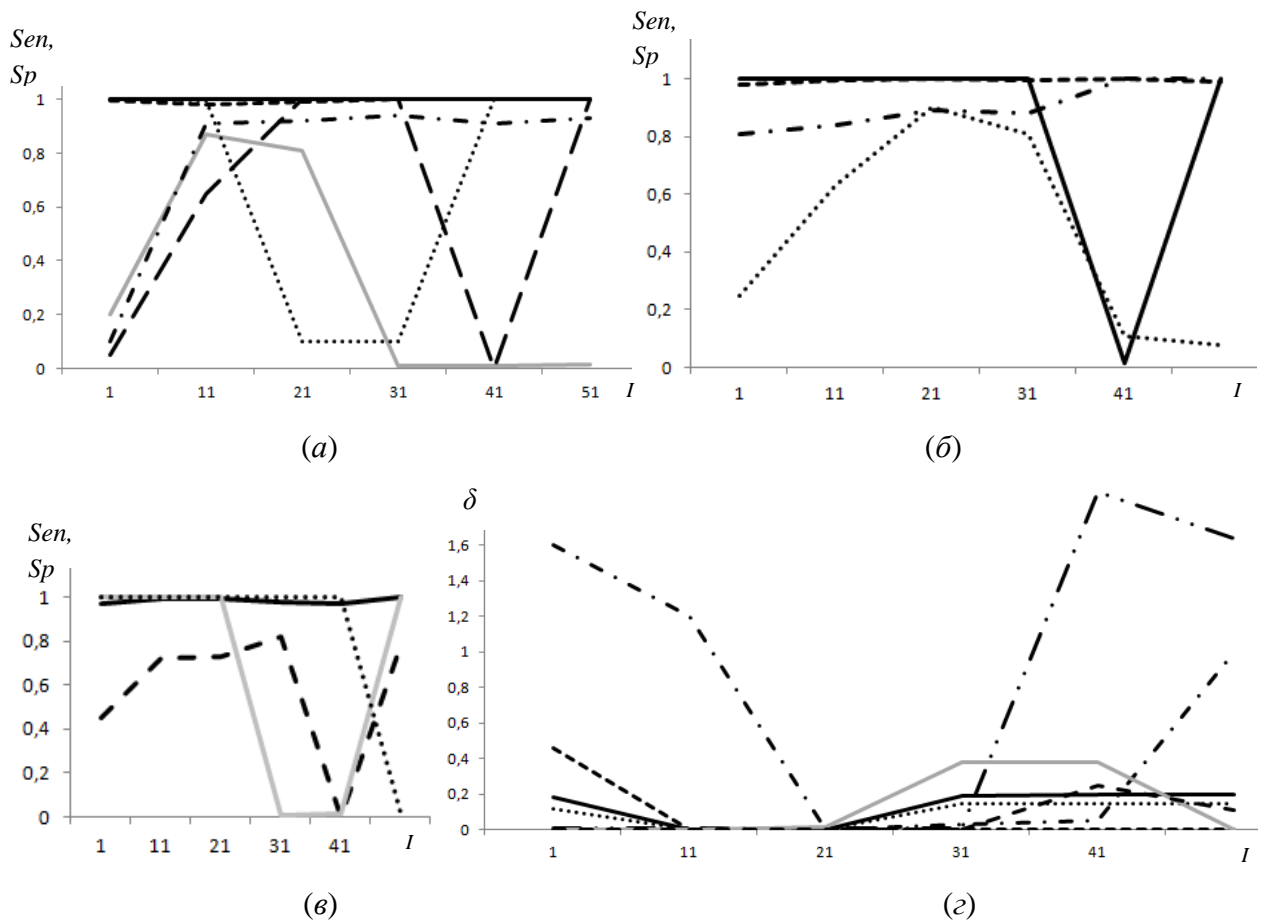
Таблица 5.3 – Параметры и результаты тестирования знаний кардиолога, читающего ЭКГ пациента

Наименование параметров и результатов тестирования	Значения параметров и результатов тестирования
1	2
Число нейронов в скрытом слое	Изменяется от 1 до 51 с шагом 10
Алгоритм и парадигма обучения	«обратное распространение ошибки» и «обучение с учителем»
Источник обучающей и тестовой последовательностей	Структурированный массив цифровых записей электрокардиограмм Physikalish-Technishe Bundesanstalt Национального института метрологии Германии [147]
Состав БД обучающей и тестовой последовательностей	14 файлов, см. табл. 5.4
Тип записей PQRS-комплекса	Одноканальная запись PQRS-комплекса электрокардиограмм (рис. 3.1, раздел 3.1.1) в одном из 12 стандартных отведений [148] – сводит до минимума сложность аппаратной части и процедуры регистрации, что снижает стоимость и повышает эффективность клинического применения регистрирующих комплексов электрокардиограмм
Элемент базы данных патологий обучающей и тестирующей последовательностей	$(X_1, \dots, X_o; Y_i)$ , где $X_1, \dots, X_o$ – вектор образов электрокардиосигнала, компоненты которого числа из интервала $[0,1]$ , построенный по записям кардиоциклов шести патологий и нормального состояния (всего выделено 400 кардиоциклов); $O = 128$ входов для каждого модуля искусственной нейронной сети; $Y_i   i = \overline{0,6}$ – выход, соответствующий норме или одной из шести диагностируемых на электрокардиограмме патологии (принимает значение единицы или нуля)
Критерии тестирования искусственной нейронной сети, решающей диагностическую подзадачу «Распознавание и интерпретация электрокардиограммы»	1. Ошибка обучения каждого модуля [93]: $\delta_i = y_i^3 - d_i, \quad (5.1)$ где $y_i^3$ – полученное значение выхода $i$ -ого нейрона выходного третьего слоя; $d_i$ – требуемое значение $i$ -ого выхода; $i = \overline{0,6}$ ; 2. Чувствительность ( $Sen$ ) [148, 149] отражает способность ИНС обнаруживать заболевание – это отношение <числа истинно положительных решений> и <числа субъектов с заболеванием>, где положительное решение – ситуация положительного теста для пациента, имеющего заболевание; 3. Специфичность ( $Sр$ ) [148, 149] отражает точность определения отсутствия заболевания – это отношение <числа истинно отрицательных решений> и <числа субъектов без заболевания>, где отрицательное решение – ситуация отрицательного теста для пациента, не имеющего заболевания



Продолжение табл. 5.3

1	2
Результаты экспериментов с нейронной сетью для распознавания электрокардиограмм	1. Зависимости чувствительности $Sen$ и специфичности $Sp$ от числа нейронов скрытого слоя ( $I$ ) для модулей патологий под номерами 0–2, 3–4 и 5–6 (табл. 5.4) соответственно – рис. 5.4а, рис. 5.4б и рис. 5.4в; 2. Зависимости ошибки обучения $\delta$ от числа нейронов скрытого слоя всех модулей (рис. 5.4г)
Оптимальное число нейронов скрытого слоя, значения $Sen$ , $Sp$ и ошибки обучения всех модулей	Модуль 0 – 11, 0.87, 0.98, 0.0023; Модуль 1 – 11, 0.91, 0.998, 0.0021; Модуль 2 – 21, 1, 1, 0.00024; Модуль 3 – 21, 1, 0.998, 0.0002; Модуль 4 – 21, 0.89, 0.9, 0.0071; Модуль 5 – 11, 1, 1, 0.00025; Модуль 6 – 31, 0.823, 0.98, 0.00025



Обозначения:

а): -- и — —  $Sen$  и  $Sp$  модуля соответствующего норме, --- и — — — — распознающего желудочковые extrasystoles на ЭКГ, -·-·- и ······ — отклонение электрической оси сердца влево;  
б): — — — — и -·-·- — блокада левой ножки пучка Гиса, -·-·- и ······ — рубцовое поражение миокарда;  
в): — — — — и ······ — признаки перегрузки левого предсердия, --- и — — — — — присутствие аритмии;  
г): — — — — —  $\delta$  модуля соответствующего норме, --- — распознающего желудочковые extrasystoles на ЭКГ, -·-·- — отклонение электрической оси сердца влево, ······ — блокада левой ножки пучка Гиса, —·-·- — рубцовое поражение миокарда, — — — — — признаки перегрузки левого предсердия, -·-·- — присутствие аритмии

Рисунок 5.4 – Результаты экспериментального исследования МИНСРЭКГ

Таблица 5.4 – Состав базы данных с разделением на обучающую и тестовую последовательности

Номер патологии	Тип патологии	Количество обучающих примеров	Количество тестирующих примеров
1	2	3	4
0	Норма	23	20
1	Желудочковые экстрасистолы	29	27
2	Отклонение электрической оси сердца влево	27	24
3	Блокада левой ножки пучка Гиса	35	31
4	Рубцовое поражение миокарда	37	34
5	Признаки перегрузки левого предсердия	30	27
6	Присутствие аритмии	31	28

Анализ табл. 5.3 и рис. 5.4 показал, что средние значения чувствительности и специфичности для модели искусственной нейронной сети, решающей диагностическую подзадачу «Распознавание и интерпретация электрокардиограммы», равны: 0,926 и 0,979 соответственно, что следует считать обнадеживающим результатом.

В разделе 3.1.1 для нейросетевой модели *МИНССМАД* функционального элемента, рассчитывающего нормальные показатели суточного мониторинга систолического и диастолического артериального давления, определены: топология; архитектура; число нейронов входного слоя и выходного. Детали параметров и результатов тестирования [10] разработанных искусственных нейронных сетей сведены в табл. 5.5.

Таблица 5.5 – Параметры и результаты тестирования модели знаний кардиолога, анализирующего данные суточного мониторинга артериального давления

Наименование параметров и результатов тестирования	Значения параметров и результатов тестирования
1	2
Число нейронов в скрытом слое	Меняется в процессе экспериментов с моделью от 1 до 10
Алгоритм обучения	Обратное распространение ошибки
Парадигма обучения	Обучение с учителем, так как имеется достаточное количество входов и ассоциируемых с ними выходов.
Источник обучающей и тестовой последовательностей	Архив медицинских карт с данными суточного мониторинга артериального давления Калининградской областной клинической больницы

Продолжение табл. 5.5

1	2
Элемент обучающей и тестирующей последовательностей	$(X_1, X_2; Y_{11}, \dots, Y_{124}; Y_{21}, \dots, Y_{224})$ , где $X_1, X_2$ – это вектор входов ИНС, содержащий данные пола (0 – мужской, 1 – женский) и возраста (нормализация до значений в интервале $[0;1]$ ), $Y_{11}, \dots, Y_{124}; Y_{21}, \dots, Y_{224}$ – выходы 1-ой и 2-ой нейросетей соответственно: систолическое и диастолическое давление (нормализуются до значений в интервале $[0;1]$ )
Критерий тестирования	Ошибка обучения (5.1) при $i = \overline{1, 24}$ .
Результаты экспериментов с нейронной сетью для распознавания электрокардиограмм	Зависимости средней ошибки обучения $\delta$ от числа нейронов скрытого слоя для обеих нейросетей рис. 5.5: для модуля систолического давления по полу и возрасту больного на рис. 5.5а, а для модуля диастолического АД – на рис. 5.5б
Оптимальное число нейронов скрытого слоя и ошибка обучения нейросетей	1-ая нейросеть (систолическое давление): 4; 0,021 2-ая нейросеть (диастолическое давление): 4; 0,015

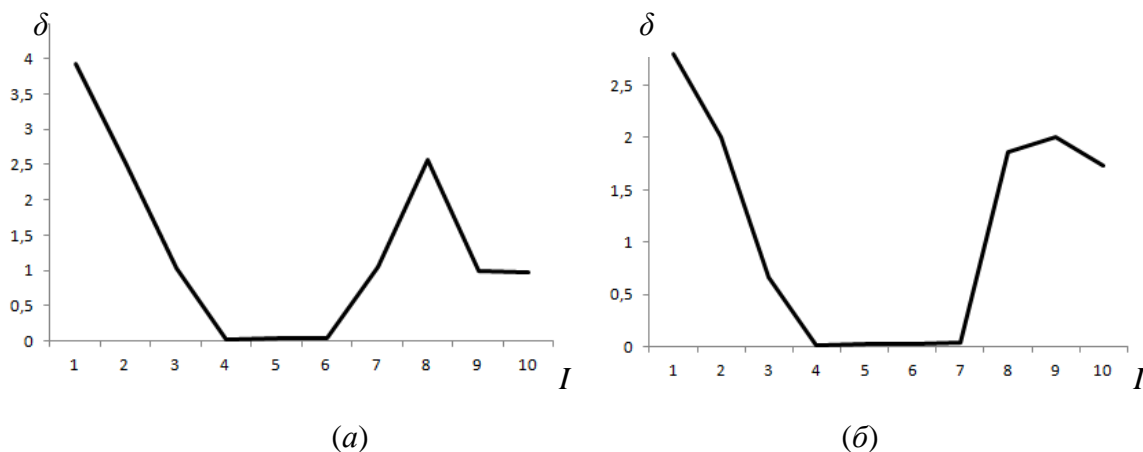


Рисунок 5.5 – Результаты экспериментального исследования искусственной нейронной сети, рассчитывающей нормальные показатели суточного мониторинга артериального давления

В итоге анализа проведенных экспериментов среднее значение ошибки обучения для МИНССМАД равно 0,018, что подтверждает релевантность модели работе кардиолога при анализе данных СМАД.

В разделе 3.3 построены концептуальные модели и определены параметры генетических алгоритмов МГАППС<sub>1-9</sub>, решающих задачу построения информативного набора признаков при диагностике заболеваний. Данные модели минимизируют общее число входных переменных на входе нечетких систем, решающих подзадачи определения состояния здоровья пациента (разд. 3.1.2). Результаты экспериментов исследовались в сравнении с данными табл. 5.6.

Таблица 5.6 – Сравнительный анализ объема входной информации нечетких систем, определяющих состояние здоровья пациента

№ НС	Наименование нечеткой системы	Объем входной информации НС		
		Исходный	После ГА	По теории Р. Карнапа
1	2	3	4	5
1	Диагностика поражений органов-мишеней	30	25	26
2	Диагностика факторов риска АГ	20	20	20
3	Диагностика цереброваскулярных болезней	80	64	68
4	Диагностика метаболического синдрома и сахарного диабета	20	14	15
5	Диагностика заболеваний периферических артерий	65	53	56
6	Диагностика ишемической болезни сердца	65	53	55
7	Диагностика эндокринной АГ	190	145	150
8	Диагностика паренхиматозной нефропатии	130	93	103
9	Диагностика реноваскулярной АГ	25	18	19

Табл. 5.6 содержит объемы входной информации для нечетких систем, полученные в [59] по данным о коэффициентах достоверности показателей состояния здоровья, полученных по теории подтверждения Р. Карнапа [150].

Анализ табл. 5.6 показал, что эволюционным моделированием исключено большее количество несущественных показателей состояния здоровья, чем аппаратом факторов уверенности. Это позволяет, применительно к виртуальному консилиуму, использовать модели генетических алгоритмов *МГАППС*<sub>1-9</sub> для решения задачи снижения размерности множества учитываемых в процессе выработки решения факторов. Разница данных в столбцах четыре и пять табл. 5.6 объясняется тем, что эксперт учитывает симптомы с достоверностью, равной нулю, не влияющие на постановку диагноза, которые в общей массе показателей состояния здоровья так или иначе учитываются врачом.

В разд. 3.1.2 и разд. 4.4 определены параметры следующих функциональных элементов ГМП: 1) нечетких систем, решающих подзадачи определения состояния здоровья пациента из подмножества «Диагностика критериев оценки сердечно-сосудистого риска и вторичной АГ у пациента»; 2) экспертной системы, решающей подзадачу «Оценка степени и стадии артериальной гипертензии, степени риска ССЗ». В табл. 5.7 представлены критерии и результаты тестирования моделей знаний терапевта, невролога, кардиолога, нефролога, сосудистого хирурга и эндокринолога, определяющих состояние пациента [10].

Таблица 5.7 – Параметры и результаты тестирования моделей рассуждений экспертов, решающих подзадачи из подмножества «Диагностика критериев оценки сердечно-сосудистого риска и вторичной АГ у пациента» и подзадачу «Оценка степени и стадии АГ, степени риска сердечно-сосудистых заболеваний»

Наименование параметров и результатов тестирования	Значения параметров и результатов тестирования
1	2
Объем тестовой выборки	400 наблюдений
Источник формирования тестовой выборки	Архив медицинских карт пациентов первой кардиологии Калининградской областной клинической больницы
Критерии тестирования	1. Чувствительность, $Sen$ (табл. 5.3); 2. Специфичность, $Sn$ (табл. 5.3); 3. Среднеквадратическая ошибка постановки диагноза (3.8)
Результаты тестирования	Для каждой нечеткой системы (табл. 5.8): 1. $Sen \rightarrow 1, Sn \rightarrow 1$ и $(Sen - Sn) \rightarrow 0$ ; 2. Среднеквадратическая ошибка постановки диагноза $\leq 0,16$

Таблица 5.8 – Значения критериев тестирования функциональных нечетких моделей, решающих подзадачи из подмножества «Диагностика критериев оценки сердечно-сосудистого риска и вторичной АГ у пациента», и экспертной системы, решающей подзадачу «Оценка степени и стадии АГ, степени риска ССЗ»

№ НС	Наименование нечеткой/экспертной системы определения состояния здоровья пациента	Чувствительность нечеткой системы	Специфичность нечеткой системы	Среднеквадратическая ошибка постановки диагноза пациента
1	2	3	4	5
1	Диагностика поражений органов-мишеней	0,9	1	0,141
2	Диагностика факторов риска артериальной гипертензии	1	1	0
3	Диагностика цереброваскулярных болезней	0,85	0,8	0,1127
4	Диагностика метаболического синдрома и сахарного диабета	1	1	0
5	Диагностика заболеваний периферических артерий	0,95	0,95	0,187
6	Диагностика ишемической болезни сердца	0,95	0,9	0,061
7	Диагностика эндокринной АГ	0,8	0,85	0,135
8	Диагностика паренхиматозной нефропатии	0,75	0,75	0,154
9	Диагностика реноваскулярной артериальной гипертензии	1	1	0
10	Оценка степени и стадии АГ, степени риска сердечно-сосудистых заболеваний (экспертная система)	1	1	0

Анализ табл. 5.7 и табл. 5.8 показал, что критерии чувствительности и специфичности всех моделей стремятся к единице, а среднеквадратическая ошибка постановки диагноза пациента не превышает 0,16. Это подтверждает, что нечеткие модели *МНСДАГ<sub>1</sub>–МНСДАГ<sub>9</sub>* и модель стационарной продукционной экспертной системы *МЭССС* с механизмом объяснения релевантны процессу диагностики артериальной гипертензии в стационарной Калининградской областной клинической больнице.

Таким образом, по результатам анализа критериев тестирования функциональных и технологических моделей гетерогенного модельного поля виртуального консилиума для диагностики артериальной гипертензии, значения которых получены в лабораторных экспериментах с моделями, можно сделать следующие выводы:

1. Модель *МИНСРЭКГ*, решающая диагностическую подзадачу «Распознавание и интерпретация электрокардиограммы», в 93% случаях распознает наличие патологии, в 98% – отсутствие патологии (табл. 5.3, рис. 5.4), что указывает на релевантность модели реальной диагностической ситуации и позволяет включить модель в гетерогенное модельное поле для нейровычислений;
2. Модель *МИНСМАД*, рассчитывающая нормальные показатели суточного мониторинга артериального давления, может быть включена в ГМП с оценкой релевантности анализа артериального давления пациента диагностической ситуации в 98% (табл. 5.5, рис. 5.5) – такая оценка повышает вероятность достоверности заключительного диагноза, формируемого моделью *МЭССС*, решающей подзадачу «Оценка степени и стадии артериальной гипертензии, степени риска сердечно-сосудистых заболеваний» и использующей результаты анализа вектора выхода данного нейросетевого модуля;
3. Генетические алгоритмы удовлетворительно минимизируют общее число входных переменных нечетких систем *МГАППС<sub>1</sub>, ..., МГАППС<sub>9</sub>*, решающих подзадачи определения патологического состояния здоровья пациента, что повышает эффективность виртуального консилиума, уменьшая объем обрабатываемой информации о показателях состояния здоровья человека, вводимых в систему;

4. Все функциональные нечеткие модели  $MHСДАГ_1, \dots, MHСДАГ_9$  и экспертная система  $MЭССС$  могут быть включены в ГМП виртуального консилиума для диагностики АГ, так как критерии чувствительности и специфичности всех моделей стремятся к единице (табл. 5.7), а среднеквадратическая ошибка постановки диагноза меньше 0,16 (табл. 5.8).

Следовательно, все модели гетерогенного модельного поля ВКДАГ релевантны реальному процессу диагностики артериальной гипертензии и могут быть использованы при инициализации интегрированных моделей ВКДАГ.

#### **5.4. Тестирование качества интегрированных моделей, синтезированных виртуальным консилиумом для диагностики артериальной гипертензии**

В экспериментах с интегрированными моделями [10] исследовалось проявление свойств дополненности и сотрудничества, присущие коллективным рассуждениям специалистов при постановке диагноза. При исследовании ВКДАГ рассчитаны ошибки совместной работы моделей ГМП, взаимоувязанных межмодельными интерфейсами ( $x^y \zeta$ , (3.7), рис. 4.2). Функциональная структура исследовательского прототипа ВКДАГ (рис. 4.1) разработана и протестирована в системе MATLAB–Simulink (рис. Г1) и оболочке KAPPA PC.

В консилиуме принимают участие (разд. 5.1): кардиолог (как ЛПР и эксперт), невролог, нефролог, терапевт, эндокринолог, сосудистый хирург. Ограничения виртуального консилиума описаны в разделе 2.1. В экспериментах решение задачи диагностики артериальной гипертензии моделировалось в соответствии с декомпозицией (рис. 2.1) и отношениями дополненности и сотрудничества, заданными на функциональных моделях ГМП (рис. 3.7).

План проведения экспериментов:

1. Инициализировать интегрированную модель ВКДАГ, включающую знания шести выбранных (разд. 5.1) врачей различной специализации (рис. 5.3);
2. Инициализировать шесть интегрированных моделей ВКДАГ, каждая из которых включает знания пяти выбранных (разд. 5.1) врачей различной специализации;

3. Инициализировать интегрированные модели, включающие знания различных по составу врачей консилиумов в количестве от двух до четырех;
4. Тестировать все модели на тестовой выборке и рассчитать среднеквадратическую ошибку постановки диагноза пациента (результаты в табл. 5.9);
5. Проанализировать те элементы диагноза АГ, которые неверно определены при удалении из работы ВКДАГ знаний того или иного врача (результаты на рис. 5.7).

Таблица 5.9 – Параметры и результаты тестирования интегрированных моделей виртуального консилиума

Наименование параметров и результатов тестирования	Значения параметров и результатов тестирования
1	2
Объем тестовой выборки ВКДАГ, интегрирующего знания всех шести врачей	200 наблюдений – 100 с диагнозами эссенциальной артериальной гипертензии и 100 с диагнозами вторичной артериальной гипертензии
Объем тестовой выборки ВКДАГ, интегрирующего знания менее шести врачей	200 наблюдений – 100 с диагнозами эссенциальной артериальной гипертензии и 100 с диагнозами вторичной артериальной гипертензии
Источник формирования тестовой выборки	Архив медицинских карт пациентов первой кардиологии Калининградской областной клинической больницы
Эталонный диагноз	Результаты деятельности лечащего врача кардиолога – дифференциальный диагноз артериальной гипертензии: степень АГ; стадия эссенциальной артериальной гипертензии (или гипертонической болезни); класс общего риска сердечно-сосудистых заболеваний; факторы риска, поражения органов-мишеней, ассоциативные клинические состояния и вторичные артериальные гипертензии
Элемент тестирующей последовательности	$(X_{11}, \dots, X_{1340}; X_{21}, \dots, X_{2128}; Y_1 \dots Y_{100})$ , где $X_{11}, \dots, X_{1340}$ – нечеткие лингвистические переменные; $X_{21}, \dots, X_{2128}$ – вектор образа электрокардиосигнала из чисел интервала $[0,1]$ (разд. 3.1.1) – может отсутствовать; $Y_1 \dots Y_{100}$ – четкие константы, принимающие значение нуля или единицы – элементы эталонного диагноза (разд. 3.1.2)
Критерии тестирования	Среднеквадратическая ошибка $f$ постановки диагноза пациента рассчитывается согласно (3.8) $\delta_{l_j}$ причем – отклонение от эталонного значения по $l$ -ому выходу десятой нечеткой системы (0, если совпадает с эталоном, и 1 или -1, если нет); $N_k$ – число выходов десятой нечеткой системы; $k = 10$ ; Время, затрачиваемое врачом, – складывается из времени процедуры обследования ( $t_o$ ), времени на обработку результатов ( $t_p$ ) и времени на запись заключения ( $t_3$ )



Продолжение табл. 5.9

1		2
Алгоритм расчета среднеквадратической ошибки		<p>1. Подсчитывается отклонение диагноза от эталонного по каждому выходу ВКДАГ для <math>N</math> наблюдений в тестовой выборке, т.е. <math>N</math> отклонений по <math>l</math>-ому (<math>l = \overline{1, N_k}, k = 10</math>) выходу системы <math>\delta_{l,j}</math> (0, если совпадает с эталоном, и 1 или -1, если нет), которые складываются и усредняются;</p> <p>2. Вычисляется среднеквадратическая ошибка постановки диагноза пациента (<math>f</math>) по формуле (3.8) при <math>N = 400, N_k = 100</math></p>
Порядок работы моделей гетерогенного модельного поля виртуального консилиума для диагностики артериальной гипертензии		<p>1. Запускаются модели первой очереди – модели технологических элементов <math>МГАППС_{1-9}</math>, корректирующие множества входных переменных <math>МНСДАГ_{1-9}</math> и <math>МЭССС</math>;</p> <p>2. Обработка информации передается функциональным элементам:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- модели второй очереди «отправляют» информацию на модели третьей, пятой, шестой и седьмой очередей – <math>МИНСРЭКГ</math> (модель, решающая задачу распознавания ЭКГ), <math>МИНССМАД</math> (формирует оптимальные множества показателей суточного давления), <math>МНСДАГ_9</math>, <math>МНСДАГ_2</math> и <math>МНСДАГ_6</math>;</li> <li>- третья очередь содержит модели <math>МНСДАГ_4</math> и <math>МНСДАГ_5</math>, передающие выходную информацию на вход моделей четвертой и седьмой очередей;</li> <li>- четвертая очередь содержит модель <math>МНСДАГ_8</math>, передающая информацию модели пятой очереди <math>МНСДАГ_1</math>, которая в свою очередь передает информацию <math>МНСДАГ_3</math> (шестая очередь);</li> <li>- от <math>МНСДАГ_3</math> передается информация <math>МНСДАГ_7</math> (седьмая очередь).</li> </ul> <p>3. Запускается модель <math>МЭССС</math>, формирующая заключительный диагноз, на вход которой передается выходная информация функциональных моделей второй–седьмой очередей</p>
Результаты тестирования (рис. 5.6)	$f$ (шесть врачей)	0,0837
	$f$ (без кардиолога)	0,697
	$f$ (без нефролога)	0,448
	$f$ (без терапевта)	0,151
	$f$ (без невролога)	0,149
	$f$ (без эндокринолога)	0,311
	$f$ (без сосудистого хирурга)	0,0837
	$f$ (используются знания только кардиолога)	0,711
	$f$ (используются знания только кардиолога и нефролога)	0,485
	$f$ (используются знания только кардиолога, нефролога и терапевта)	0,334
$f$ (без знаний невролога, сосудистого хирурга)	0,167	
Время обработки результатов и оформления заключения виртуальным консилиумом, сек		≈ 30

Анализ табл. 5.9 и рис. 5.6 [11] показал, что:

1. С применением виртуального консилиума время на обработку результатов и оформление заключения приравнивается примерно к 30 секундам, соответственно снижая общее время диагностики, при условии, что врач работает в паре с медсестрой. Однако временной параметр не использовался как сравнительная характеристика работы ВКДАГ, поскольку полная диагностика АГ в учреждениях широкого профиля проходит за два-три приема врача;
2. Без знаний кардиолога, или нефролога, или эндокринолога среднеквадратическая ошибка наибольшая: 0,697; 0,448 и 0,311 соответственно, и объясняется это тем, что кардиолог играет ключевую роль в обработке информации, поступающей от других врачей и от лабораторных исследований, и в постановке заключительного диагноза, а нефролог и эндокринолог – в исключении вторичной артериальной гипертензии;
3. Знания врача-сосудистого хирурга, касающиеся диагностики АГ, не влияют на результаты работы виртуального консилиума, так как составляют только 20% базы знаний нечеткой системы, распознающей заболевания периферических артерий (ассоциативные клинические состояния), встречающиеся не более, чем у 10% населения [151], и в тестовую выборку не попали карты с данными заболеваниями;
4. Чем больше численный состав консилиума, тем с меньшей среднеквадратической ошибкой он определяет состояние здоровья пациента, и, соответственно, виртуальный консилиум в составе шести врачей диагностирует АГ со среднеквадратической ошибкой постановки диагноза  $f = 0,0837$ , т.е. дает диагноз верный в 92% случаях.

Несмотря на то, что знания врача-сосудистого хирурга не влияют на среднеквадратическую ошибку постановки диагноза пациента, исключать их из базы знаний нечеткой системы, распознающей заболевания периферических артерий, неверно, поскольку при переносе ВКДАГ в другое больничное учреждение возможна ситуация, когда в нем будут присутствовать больные с соответствующими заболеваниями, и знания врача-сосудистого хирурга будут задействованы при диагностике артериальной гипертензии.

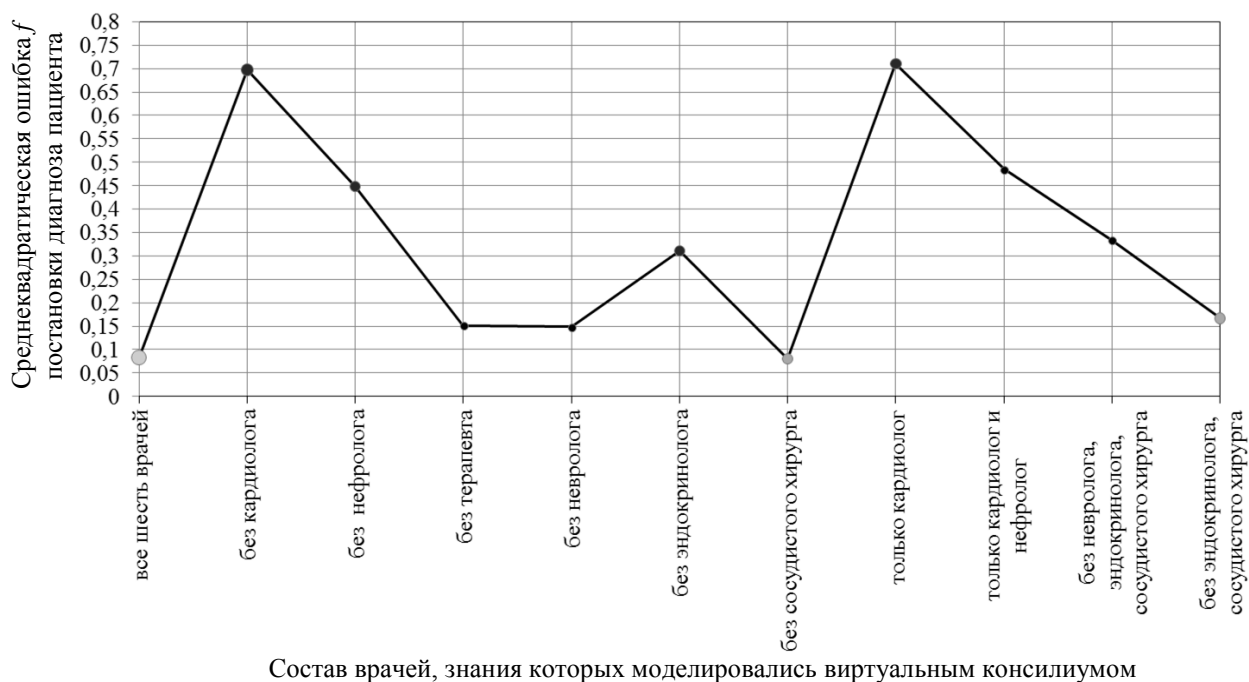
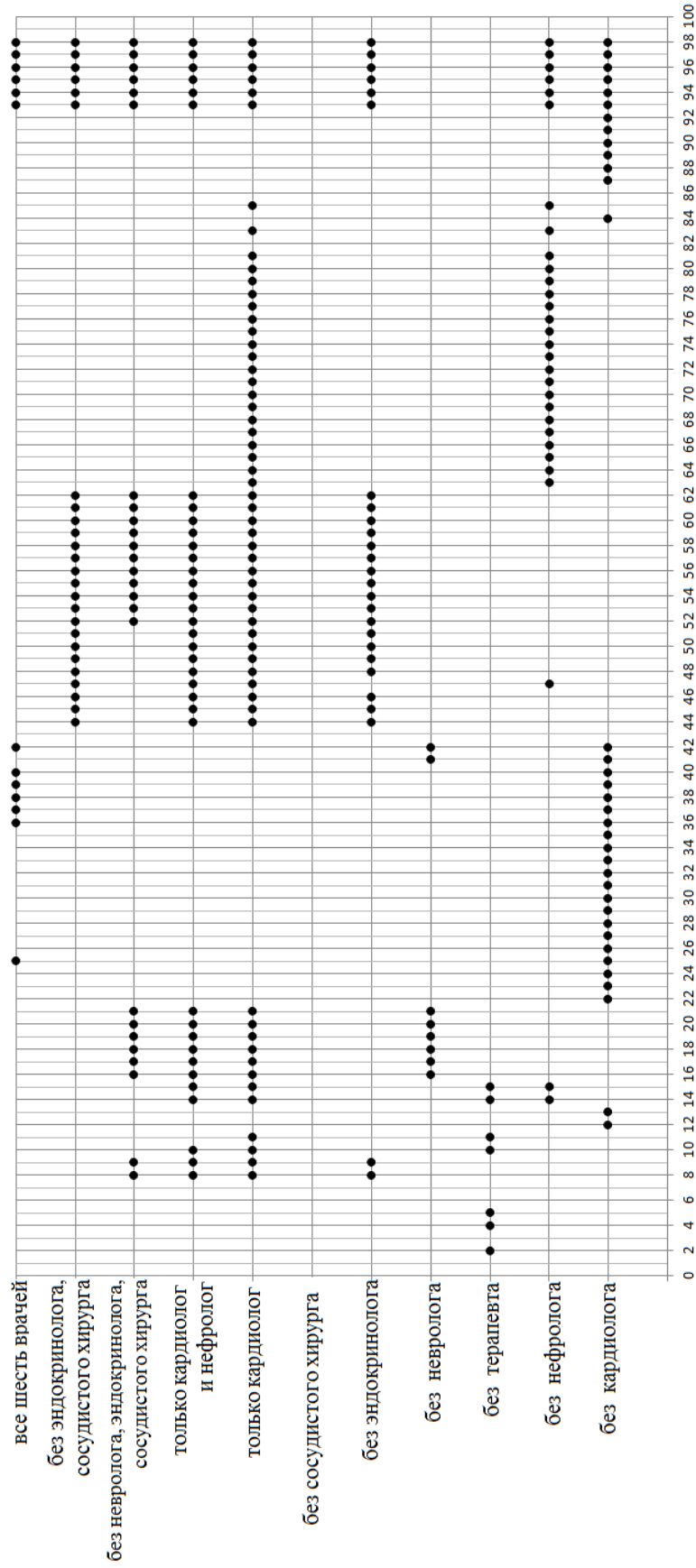


Рисунок 5.6 – Зависимость среднеквадратической ошибки постановки диагноза пациента от состава консилиума

Гетерогенный подход виртуального консилиума дает результаты лучше, чем при гомогенном подходе, например в НИР «Диагноз» (2010 г.) [59] – система с базой знаний для поддержки принятия решений по диагностике АГ логико-лингвистическими методами с применением метода факторов уверенности Р. Карнапа только в 60% случаев формировала верный развернутый дифференциальный диагноз.

На рис. 5.7 представлены результаты анализа множества элементов диагноза, неверно определенных хотя бы в одном случае в зависимости от состава консилиума. Анализ результатов на рис. 5.7 показал, что при исключении знаний таких врачей, как эндокринолог или нефролог, количество элементов диагноза, неверно определенных, больше, чем при исключении знаний терапевта или невролога, так как от первых зависит достоверность исключения наличия вторичной артериальной гипертензии, а значит и результирующего диагноза. Также подтвердилось отсутствие влияния знаний врача сосудистого хирурга на данной тестовой выборке.

Состав врачей, знания  
 которых моделировались  
 Виртуальным консилиумом



Номер элемента в  
 заключительном диагнозе

Рисунок 5.7– Результаты анализа распределения элементов диагноза в экспериментах в зависимости от состава консилиума

Наилучшая ситуация с наименьшим количеством неверно определенных элементов диагноза (среднеквадратическая ошибка  $f = 0,0837$ ) – когда в состав виртуального консилиума включены знания всех шести врачей.

Более глубокий анализ рис. 5.7 показал, что в 8% случаев ошибочной постановки диагноза пациента входят наблюдения из экспериментальной выборки, в которых:

1. Либо модуль *МИНСРЭКГ* распознал неверно патологию или модуль *МИНСМАД* передал некорректную информацию о нормальных значениях суточного мониторинга артериального давления пациента по его полу и возрасту для дальнейшего анализа;
4. Либо неверно дифференцирован тип АГ – установлено наличие эссенциальной артериальной гипертензии, в то время как имела место вторичная артериальная гипертензия, связанная с причинами, попавшими в ограничения декомпозиции неоднородной задачи диагностики АГ (разд. 2.2), например – с острым стрессом или системными заболеваниями соединительной ткани;
5. Либо в карте стационарного больного такие заболевания, как, например, транзиторная ишемическая атака и стенокардия указаны с типом и/или с функциональным классом, но ВКДАГ в соответствии с имеющимися ограничениями такую информацию не предоставляет.

Таким образом, предварительные результаты лабораторных экспериментов с прототипом инструментальной среды «Виртуальный консилиум» таковы: верное решение получено в 92% случаев, а диагностические выводы виртуального консилиума релевантны диагностике АГ в стационаре больницы, в то время, как в амбулаторно-поликлинических учреждениях диагноз не выявляется у 70% пациентов в основном по следующим причинам: недостатка опыта врачей узкой специализации и нехватки кадров.

Виртуальный консилиум разработан на основе всероссийских и международных рекомендаций по диагностике АГ и сопутствующих заболеваний [75, 79–86], которых должен придерживаться каждый врач в своей практике. Концептуальная модель и функциональная структура виртуального консилиума универсальны, как и базы знаний экспертной системы и нечетких систем,

основанных на логическом выводе типа Такаги-Сугено, моделирующих знания шести врачей различной специализации, подтвержденные экспериментальными данными из архива Калининградской областной клинической больницы (разд. 4.4).

При переносе ВКДАГ в другое больничное учреждение необходимо предоставить врачам данного учреждения результаты проверки адекватности правил диагностических нечетких баз знаний (Приложение Д) для ознакомления и внесения при необходимости коррективов в связи с возможными особенностями их контингента пациентов, у которых превалирует какая-то определенная группа заболеваний, а также возможных требований по устранению ограничений системы (разд. 2.2) со стороны персонала нового больничного учреждения. Значительной корректировки баз знаний не потребуются.

Результаты экспериментов с исследовательским прототипом позволяют предположить, что применение виртуального консилиума, доведенного до стадии промышленного прототипа, во время приема пациентов может улучшить качество диагностики артериальной гипертензии в лечебно-профилактических учреждениях широкого профиля амбулаторно-поликлинического типа.

## **5.5. Выводы**

Представлены результаты исследования объектов, субъектов, ресурсов и средств диагностики, выявленных на основе концептуальной модели диагностического процесса в медицине.

Описаны и проанализированы характеристики объектов – (табл. 5.1) и субъектов – врачей-экспертов (табл. 5.2) процесса диагностики артериальной гипертензии в Диагностическом центре КОКБ (поликлиническое учреждение) и собственно в многопрофильном стационарном лечебно-профилактическом учреждении – Калининградской областной клинической больнице. Это позволило выявить проблемы и особенности, связанные с процессом медицинской диагностики, и построить его концептуальные модели.

Проведен анализ моделей на рис. 5.2, по результатам которого:

1. Выявлены проблемы ЛПУ амбулаторно-поликлинического типа в сравнении со стационарными больничными учреждениями;

2. Сделан вывод о возможности повышения эффективности и качества индивидуальных диагностических решений за счет внедрения виртуального консилиума;
3. Построена концептуальная модель виртуального консилиума как СППР для диагностики артериальной гипертензии с учетом модели коллективной выработки решения в малых группах.

Проведен анализ проблемной среды диагностики артериальной гипертензии и подтверждена релевантность гетерогенного восприятия процесса диагностики и его объекта сложности реальной ситуации диагностики.

Согласно целям и задачам экспериментов протестированы модели гетерогенного модельного поля и интегрированные модели виртуального консилиума для диагностики артериальной гипертензии. Полученные результаты экспериментов с моделями ГМП подтвердили, что все модели работают корректно и могут быть включены в гетерогенное модельное поле виртуального консилиума для последующего синтеза интегрированных моделей.

По результатам анализа лабораторных экспериментов с интегрированными моделями исследовательского прототипа ВКДАГ были сформулированы следующие выводы:

1. Подтверждена эффективность предлагаемого подхода для проектирования диагностических систем, как гетерогенных искусственных систем со свойствами дополнительности, сотрудничества и относительности знаний, синтезирующих интегрированные методы и модели, разнообразие которых устраняет разнообразие диагностической информации об организме человека;
2. Показано, что чем больше состав консилиума, тем с меньшей ошибкой ставится диагноз пациенту;
3. Результаты работы виртуального консилиума, доведенного до стадии промышленного прототипа, будут сравнимы с результатами диагностики пациента в стационаре многопрофильной больницы;
4. Ввиду универсальности документов, регламентирующих процесс диагностики АГ и сопутствующих заболеваний [75, 79–86], на основе которых разрабатывался виртуальный консилиум, при переносе системы из одного

больничного учреждения в другое нет необходимости в изменении её концептуальной модели и функциональной структуры консилиума.

Результаты исследования используются в лекционных и практических занятиях по дисциплинам «Основы теории принятия решений» и «Интеллектуальные системы и технологии» для студентов очной формы обучения по направлению 09.03.02.62 – «Информационные системы и технологии» (квалификация бакалавр) Балтийского федерального университета им. И. Канта, а также были протестированы при приеме пациентов Диагностического центра КОКБ кардиологом без опыта работы на данных из пятидесяти медицинских карт, что подтверждается соответствующими документами из Приложения А.



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сформулируем основные результаты работы:

1. Исследованы особенности процесса принятия коллективных диагностических решений и разработана новая концептуальная модель выработки решения, отображающая разнородную, скоординированную коллективную деятельность экспертов в малых группах (на примере медицинской диагностики).
2. Разработана модель консилиума специалистов, представляющая объект диагностики с позиций различных экспертов и влекущая целостное восприятие организма пациента при диагностике.
3. Разработано гетерогенное модельное поле, включающее множество моделей диагностических подзадач, релевантное разнообразию знаний экспертов из медицинского консилиума, что позволяет отобразить дополненность знаний и учесть разнообразие мнений экспертов в сложных диагностических ситуациях.
4. Разработан новый алгоритм синтеза над гетерогенным модельным полем интегрированной модели знаний, что позволяет отобразить сотрудничество экспертов с разнородными знаниями в процессе решения неоднородной задачи диагностики.
5. Разработана программная реализация инструментальной среды «Виртуальный консилиум» средствами пакета MATLAB–Simulink и KAPPA PC (на примере задачи диагностики артериальной гипертензии). При экспериментальном применении исследовательского прототипа «Виртуальный консилиум» диагностические выводы были релевантны диагностике АГ в стационаре больницы, а верное решение было получено в 92% случаев по сравнению с 60% случаев при автоматизированной гомогенной диагностике и 30% случаев в диагностической практике лечебно-профилактических учреждений поликлинического типа.
6. Показано, что степень доверия ЛПР к диагнозу повышается за счет включения в виртуальный консилиум экспертной системы с механизмом объяснения,

которая формирует расширенный диагноз, релевантный клиническому эпикризу.

7. Экспериментально подтверждено, что виртуальный консилиум может улучшить качество диагностики АГ (терапевтами, врачами общей практики и кардиологами без опыта работы) в амбулаторно-поликлинических учреждениях посредством повышения качества индивидуального решения за счет консультаций с моделью коллективной работы врачей при диагностике пациента.

Полученные результаты исследования виртуального консилиума подтверждают эффективность предлагаемого подхода для разработки диагностических систем как гибридных интеллектуальных систем со свойствами дополненности, сотрудничества и относительности знаний, синтезирующих интегрированные методы и модели. Такие системы могут быть использованы для повышения качества диагностики, снижения числа диагностических ошибок и, следовательно, повышения безопасности принимаемых диагностических

## СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

АГ	артериальная гипертензия
АД	артериальное давление
БД	база данных
БЗ	база знаний
ВКДАГ	Виртуальный консилиум для диагностики артериальной гипертензии
ВНОК	Всероссийское научное общество кардиологов
ГА	генетические алгоритмы
ГиИС	гибридная интеллектуальная система
ГМП	гетерогенное модельное поле
Д	детерминированные (переменные)
ДАГ <sub>1-9</sub>	девять подзадач из подмножества «Диагностика критериев оценки сердечно-сосудистого риска и вторичной артериальной гипертензии у пациента»
ИИ	искусственный интеллект
ИНС	искусственные нейронные сети
ИС	инструментальная среда
КОКБ	Калининградская областная клиническая больница
Л	логические или пропозициональные (переменные)
ЛН	лингвистические нечеткие (переменные)
ЛПР	лицо, принимающее решение
ЛПУ	лечебно-профилактическое учреждение
ЛЧ	лингвистические или символные (переменные)
МГАППС <sub>1-9</sub>	девять моделей генетических алгоритмов для решения девяти подзадач из подмножества в девять технологических подзадач «Построение информативного набора признаков при диагностике заболеваний из областей 1–9»
МКБ	международная статистическая классификация болезней и проблем, связанных со здоровьем

МИНССМАД	модель искусственной нейронной сети для решения подзадачи «Анализ суточного мониторирования артериального давления»
МИНСРЭКГ	модель искусственной нейронной сети для решения подзадачи «Распознавание и интерпретация электрокардиограммы»
МНСДАГ <sub>1-9</sub>	девять моделей нечетких систем для решения девяти подзадач из подмножества «Диагностика критериев оценки сердечно-сосудистого риска и вторичной артериальной гипертензии у пациента»
МНСССС	модели нечетких систем для решения подзадачи «Оценка степени и стадии АГ, степени риска сердечно-сосудистых заболеваний»
МЭСМАД	модель экспертной системы для решения подзадачи «Анализ суточного мониторирования артериального давления»
МЭССС	модель экспертной системы для решения подзадачи «Оценка степени и стадии АГ, степени риска сердечно-сосудистых заболеваний»
НИР	научно-исследовательская работа
НС	нечеткие системы
НЗД	неоднородная задача диагностики
НЗДАГ	неоднородная задача диагностики артериальной гипертензии
ПП	программный продукт
ПС-методология	проблемно-структурная методология
ППС <sub>1-9</sub>	девять подзадач из подмножества «Построение информативного набора признаков при диагностике заболеваний из областей 1–9»
РФФИ	Российский фонд фундаментальных исследований
РЭКГ	подзадача «Распознавание и интерпретация электрокардиограммы»
С	стохастические (переменные)
СМАД	подзадача «Анализ суточного мониторирования артериального давления»/ суточное мониторирование артериального давления
ССС	подзадача «Оценка степени и стадии АГ, степени риска

	сердечно-сосудистых заболеваний»
СППР	система поддержки принятия решений
ССЗ	сердечно-сосудистые заболевания
ТГС	таблица гибридных стратегий
УЗИ	ультразвуковая диагностика
УЗДГ	ультразвуковая доплерография
ФИЦ ИУ РАН	Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук
ХСН	хроническая сердечная недостаточность
ЭВМ	электронная вычислительная машина
ЭКГ	электрокардиограмма
ЭС	экспертные системы
ЭхоКГ	эхокардиограмма

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Нургазизова, А.К. Происхождение, развитие и современная трактовка понятий «коморбидность» и «полиморбидность» / А.К. Нургазизова // Казанский медицинский журнал. - 2014. - Т. 95. - №2. - С. 292-296.
2. Попов, Э.В. Статические и динамические экспертные системы: учебное пособие / Э.В. Попов, И.Б. Фоминых [и др.]. - М.: Финансы и статистика, 1996. - 320 с.
3. Фомин, Я.А. Статистическая теория распознавания образов / Я.А. Фомин, Г.Р. Тарловский. - М.: Радио и связь, 1986. - 264с.
4. Чернавский, Д.С. Распознавание. Аутодиагностика. Мышление. Синергетика и наука о человеке / Д.С. Чернавский, В.П. Карп, Родштат И.В. [и др.]. - М.: Радиотехника, 2004. - 271 с.
5. Бонгард, М.М. Проблемы узнавания / М.М. Бонгард. - М.: Наука, 1967. - 320 с.
6. Регистр лекарственных средств России РЛС Пациент 2003: энцикл. лекарств: ежегод. сб. [Электронный ресурс] / [подгот. В. В. Абрамов и др. ; гл. ред. Г.Л. Вышковский]. - Электрон. дан. - 2002. - Режим доступа: [http://www.rlsnet.ru/books\\_book\\_id\\_2.htm/](http://www.rlsnet.ru/books_book_id_2.htm/). - Загл. с экрана.
7. Ригельман, Р. Как избежать врачебных ошибок: Книга практикующего врача: [пер. с англ.] / Р. Ригельман; под ред. М.А. Осина. - М.: Практика, 1994. - 208 с.
8. Кириков, И.А. Исследование сложной задачи диагностики артериальной гипертензии в методологии искусственных гетерогенных систем / И.А. Кириков, А.В. Колесников, С.Б. Румовская // Системы и средства информатики. - 2013. - Т. 23. - №2. - С. 96-114.
9. Кириков, И.А. Функциональная гибридная интеллектуальная система для поддержки принятия решений при диагностике артериальной гипертензии / И.А. Кириков, А.В. Колесников, С.Б. Румовская // Системы и средства информатики. - 2014. - Т. 24. - №1. - С. 153-179.
10. Кириков, И.А. Исследование лабораторного прототипа искусственной гетерогенной системы для диагностики артериальной гипертензии / И.А. Кириков,

А.В. Колесников, С.Б. Румовская // Системы и средства информатики. - 2014. - Т. 24. - №. 3. - С. 121-143.

11. Кириков, И.А. «Виртуальный консилиум» - инструментальная среда поддержки принятия сложных диагностических решений / И.А. Кириков, А.В. Колесников, С.В. Листопад, С.Б. Румовская // Информатика и её применения. - 2016. - Т. 10. - №. 3. - С. 81-90.

12. Румовская, С.Б. Методы и средства информатики для диагностики артериальной гипертензии в лечебно-профилактических учреждениях широкого профиля / С.Б. Румовская // Труды Второй молодежной научной конференции «Задачи современной информатики» - М.: ФИЦ ИУ РАН, 2015. - С. 168-174.

13. Rumovskaya, S. Knowledge-based system for decision making support at diagnosing of the arterial hypertension / S. Rumovskaya, A. Kolesnikov, I. Kirikov // Proceedings of the 9th Joint Conference on Knowledge-based Software Engineering (JCKBSE'10). 25-27 august 2010, Kaunas, Lithuania. - Kaunas: Kaunas University of Technology, 2010. - pp. 55-68.

14. Румовская, С.Б. Гибридная интеллектуальная система для поддержки принятия решения по диагностике артериальной гипертензии / С.Б. Румовская, И.А. Кириков // Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте: Сборник научных трудов VII Международной научно-технической конференции (Коломна, 20-22 мая 2013 г.) / Под ред. В.Б. Тарасов. - Т.2. - М.: Физматлит, 2013. - С. 600-610.

15. Колесников, А.В. Мягкие вычисления в гибридных диагностических системах / А.В. Колесников, С.Б. Румовская // Вестник Ростовского государственного университета. - 2014. - №. 1(53). - С. 51-61.

16. Румовская, С.Б. Виртуальный консилиум - искусственная гетерогенная система для диагностики артериальной гипертензии / С.Б. Румовская // Четвертая школа молодых ученых ИПИ ФИЦ ИУ РАН: Сборник докладов. - М.: ИПИ РАН, 2014. - С. 25-38.

17. Румовская, С.Б. Виртуальная диагностика артериальной гипертензии / С.Б. Румовская, А.В. Колесников // XVI всероссийской научно-технической конференции «НЕЙРОИНФОРМАТИКА-2014» с международным участием: Сборник научных трудов. В 3-х частях. Ч. 3. - М.: НИЯУ МИФИ, 2014. - С. 57-68.

18. Румовская, С.Б. Виртуальный тренажер для диагностики артериальной гипертензии / С.Б. Румовская, А.В. Колесников // Труды международной научно-методической конференции «Информатизация инженерного образования» - ИНФОРИНО-2014 (Москва, 15-16 апреля 2014 г.). - М.: Издательство МЭИ, 2014. - С. 131-134.

19. Румовская, С.Б. Нечеткие модели гетерогенного модельного поля виртуального консилиума для диагностики артериальной гипертензии / С.Б. Румовская // Методы и технологии гибридного и синергетического искусственного интеллекта: Материалы I международной Поспеловской летней школы-семинара для студентов, магистрантов и аспирантов. - Калининград: Изд-во БФУ им. И. Канта, 2014. - С. 102-112.

20. Колесников, А.В. Системный анализ в решении сложных диагностических задач / А.В. Колесников, С.Б. Румовская, С.В. Листопад, И.А. Кириков // Системный анализ и информационные технологии: Труды VI международной конференции САИТ-2015 в 2-х томах.- Калининград: Изд-во БФУ им. И. Канта, 2015. - Т 1. - С. 157-167.

21. Кириков, И.А. Виртуальные коллективы для поддержки принятия решений в сложных задачах диагностики / И.А. Кириков, А.В. Колесников, С.Б. Румовская // Гибридные и синергетические интеллектуальные системы: Материалы III Всероссийской Поспеловской конференции с международным участием/ Под ред. д-ра техн. наук, проф. А.В. Колесникова. - Калининград: Изд-во БФУ им. И. Канта, 2016. - С. 240-248.

22. Кириков, И.А. Гетерогенная диагностика артериальной гипертензии / И.А. Кириков, С.Б. Румовская // Информатика, управление и системный анализ: Труды IV Всероссийской научной конференции молодых ученых с международным участием. - Т. 1. - Тверь: Тверской государственный технический университет, 2016. - С. 179-188.

23. Румовская, С.Б. Виртуальный коллектив поддержки принятия сложных диагностических решений / С.Б. Румовская, И.А. Кириков // Пятнадцатая национальная конференции по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-2016: Труды конференции. В 3-х томах. Т. 1. - Смоленск: Универсум, 2016. - С. 255-264.



24. Колесников, А.В. Решение сложных задач коммивояжера методами функциональных гибридных интеллектуальных систем / А.В. Колесников, И.А. Кириков, С.В. Листопад, С.Б. Румовская, А.А. Доманицкий; под ред. А.В. Колесникова. - М.: ИПИ РАН, 2011. - 295 с.
25. Колесников, А.В. Методология и технология решения сложных задач методами функциональных гибридных интеллектуальных систем / А.В. Колесников, И.А. Кириков. - М.: ИПИ РАН, 2007. - 387 с.
26. Колесников, А.В. Гибридные интеллектуальные системы. Теория и технология разработки / А.В. Колесников; под ред. А.М. Яшина. - СПб.: СПбГТУ, 2001. - 711 с.
27. Петровский, А.Б. Теория принятия решений: университетский учебник / А.Б. Петровский. - М.: Академия, 2009. - 400 с.
28. Ларичев, О.И. Теория и методы принятия решений, а также Хроника событий в Волшебных странах: учебник. / О.И. Ларичев. -2-ое изд., перераб. и доп. - М.: Логос, 2002. - 392 с.
29. Fisher, P.R. Microcomputers in medical diagnosis / P.R. Fisher, D.T. Kurlander // Proceedings of the ACM'80 annual conference. Nashville, Tennessee, October 27-29, 1980. - New York: 1980. - P. 75-79.
30. Гублер, Е.В. Вычислительные методы анализа и распознавания патологических процессов / Е.В. Гублер. - Л.: Медицина, 1978. - 296 с.
31. Минцер, О.П. Диагностика и прогнозирование исходов оперативного вмешательства у больных с приобретенными пороками сердца с помощью ЭВМ: автореф. дис. ... д-ра мед. наук: 14.755 / Озар Петрович Минцер. - Вильнюс, 1972. - 32с.
32. Мисюк, Н.С. Основы математического прогнозирования заболеваний человека / Н.С. Мисюк, А.С. Мастыкин, Е.Г. Гришков. - Минск: «Вышэйшая школа», 1971. - 200 с.
33. Мисюк, Н.С. ЭВМ в диагностике нервных болезней / Н.С. Мисюк. - Минск: Беларусь, 1978. - 159 с.
34. Баевский, Р.М. Прогнозирование состояний на грани нормы и патологии / Р.М. Баевский. - М.: Медицина, 1979. - 298 с.

35. Бураковский, В.И. Алгоритмы автоматической диагностики нарушений сердечного ритма и проводимости в реальном времени исследования / В.И. Бураковский, И.Е. Лебедева, Ю.К. Навроцкий // Автоматизация медико-биологических исследований на основе ЭВМ. - Новосибирск, 1978. - С. 88-94.
36. Амосов, Н.М. О возможностях кибернетики в медицине / Н.М. Амосов, О.П. Минцер, Б.Л. Палец // Кардиология. - 1977. - №7. - С. 19-25.
37. Лищук, В.А. Идентификация системы кровообращения / В.А. Лищук, В.Л. Столяр // Автоматика. - 1979. - №1. - С. 19-26.
38. Cullen, D. The role of computers in the future of intensive care / D. Cullen, R. Terplick // Proceedings of IEEE. - 1979. - Vol. 67. - No. 9. - pp. 1307-1308.
39. Landucci, L. Real time computed based: electrocardiographic and hemodynamic monitoring in CCU / L. Landucci, A. Macorata, A. Marchesi [et. al.] // Proceedings of International conference on Medical Computing. Berlin, September 17-20, 1979. - Berlin: Springer-Verlag, 1979. - pp. 325-339.
40. Евтихийев, Н.Н. Интеллектуальные системы поддержки принятия решений для оптимизации управления в сложноорганизованных динамических объектах / Н.Н. Евтихийев, В.П. Карп, Н.В. Пудова // Приборы и системы управления. - 1997. - № 3. - С. 35-40.
41. Многофункциональная экспертная система в области медицинской инструментальной диагностики МЕДИА [Электронный ресурс] // Кафедра патофизиологии и функциональной диагностики Алтайского государственного медицинского университета. - Электрон. дан. - Режим доступа: <http://www.ctmed.ru/Medicine/asmu/patophis/>. - Загл. с экрана.
42. Искусственный интеллект: справочник. В 3-х кн. Кн. 3: Программные и аппаратные средства / Под ред. В.А. Захарова, В.Ф. Хорошевского. - М.: Радио и связь, 1990. - 368 с.
43. Чеснокова, И.В. Оптимизация лечебно-диагностического процесса у больных артериальной гипертензией на догоспитальном этапе: автореф. дисс. ... докт. мед. наук: 05.13.01 / Ирина Владимировна Чеснокова. - Воронеж, 2009. - 46 с.
44. Шулакова, М.А. Информационная поддержка принятия решений при диагностике артериальной гипертензии на основе методов гибридного интеллекта:

автореф. дисс. ... канд. техн. наук / Марина Алексеевна Шулакова. - Воронеж, 2012. - 16 с.

45. Лучинина, Е.В. Изучение диагностической эффективности метода электропунктурной диагностики по Накатани и компьютерного комплекса «Диакомс» при артериальной гипертензии: дисс. ... канд. мед. наук: 05.13.01 / Елена Валентиновна Лучинина. - Москва, 2003. - 151 с.

46. Аль, Мабрук Мохаммад. Аппаратно-программные средства и алгоритмы распознавания патологий сердца на основе перцептронных сетей: дисс. ... канд. техн. наук: 05.11.17 / Аль Мабрук Мохаммад. - Владимир, 2011. - 203 с.

47. Реброва, О.Ю. Математические алгоритмы и экспертные системы в дифференциальной диагностике инсультов: дисс. ... докт. мед. наук: 14.01.13/ Ольга Юрьевна Реброва. - Москва, 2003. - 325 с.

48. Zhang, S. American Roentgen Ray Society. New, Automated System For Diagnosis Of Major Coronary Artery Stenosis [Electronic resource] / S. Zhang, D. Levin, E. Halpern // American Journal of Roentgenology. Cardiopulmonary Imaging Papers. - Electr. data. - 2009. - Vol. 192\_supplement. - No. 5. - Mode of access: [http://www.ajronline.org/doi/full/10.2214/ajr.192.5\\_supplement.00a1](http://www.ajronline.org/doi/full/10.2214/ajr.192.5_supplement.00a1). - Загл. с экрана.

49. Hayashi, N. Feasibility of a Curvature-based Enhanced Display System for Detecting Cerebral Aneurysms in MR Angiography / N. Hayashi, Masutani Y. [et. al.] // Magnetic Resonance in Medical Sciences. - 2003. - Vol. 2. - No. 1. - pp. 29-36.

50. Бессонова, Т.В. Методы интеллектуальной поддержки принятия решений в задачах диагностики и лечения хронической сердечной недостаточности: диссертация ... канд. техн. наук: 05.13.01/ Татьяна Владимировна Бессонова. - Воронеж, 2008. - 135 с.

51. Залавский, Д.С. Разработка решающих правил для дифференциальной диагностики осложненных форм инфаркта миокарда: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.01 / Дмитрий Станиславович Залавский. - Воронеж, 2003. - 159 с.

52. Грахов, А.А. Автоматизированная система прогнозирования, ранней и дифференциальной диагностики ишемической болезни сердца на основе нечетких сетевых моделей: технические и медицинские системы: дисс. ... канд. техн. наук: 05.13.01 / Алексей Алексеевич Грахов. - Курск, 2008. - 154 с.

53. Bogousslavsky, J. Stroke subtypes and hypertension. Primary hemorrhage vs infarction, large- vs small-artery disease / J. Bogousslavsky, V. Castillo et al. // Archives of Neurology. - 1996. - Vol. 53. - №. 3. - P. 265-269.

54. Efstathiou, S.P. A new classification tool for clinical differentiation between haemorrhagic and ischaemic stroke / S.P. Efstathiou, D.I. Tsioulos et al. // Journal of Internal Medicine. - 2002. - Vol. 252. - №. 2. - P. 121-129.

55. Maclin, P.S. Using an artificial neural network to diagnose hepatic masses / P.S. Maclin, J. Dempsy // Journal of Medical Systems. - 1992. - Vol. 16. - №. 5. - P. 215-225.

56. Rinast, E. Neural network approach for computer-assisted interpretation of ultrasound images of the gallbladder / E. Rinast, R. Linder, H.D. Weiss // European Journal of Radiology. - 1993. - Vol.41. - №. 9. - P. 837-845.

57. Можаяева, М.Г. О применении искусственных нейронных сетей как современного средства информатизации / М.Г. Можаяева, В.А. Касторнова // Педагогическая информатика. - 2011. - №2. - С.87-98.

58. Загорулько, Ю.А. Использование онтологий в экспертных системах и системах поддержки принятия решений [Электронный ресурс] / Ю. А. Загорулько, Г.Б. Загорулько. - Электрон. дан. - Режим доступа: <http://www.myshared.ru/slide/92940/>. - Загл. с экрана.

59. Разработка системы с базой знаний для поддержки принятия решения при диагностике артериальной гипертензии: отчет о НИР / ФИЦ ИУ РАН, Калининградский филиал; рук. А.В. Колесников; исполн.: Румовская С.Б. [и др.]. - Калининград, 2010. - 135 с. - № ГР 01201002306.

60. Православная энциклопедия. Т. 1 [Электронный ресурс] / Под ред. патриарха Московского и всея Руси Кирилла. - Электрон. дан. - М.: ЦНЦ «Православная Энциклопедия», 2000. - С. 77-78. - Режим доступа: <http://www.pravenc.ru/text/62558.html/>. - Загл. с экрана.

61. Гаазе-Раппопорт, М.Г. От амебы до робота: модели поведения / М.Г. Гаазе-Раппопорт, Д.А. Поспелов. - М.: Наука, 1987. - 288 с.

62. Вернадский, В.И. Научная мысль как планетное явление [Электронный ресурс] / В.И. Вернадский. - Электрон. дан. - Режим доступа: <http://bookz.ru/authors/vernadskii-vladimir/mysl/1-mysl.html/>. - Загл. с экрана.

63. Моисеев, Н.Н. Коэволюция природы и общества / Н.Н. Моисеев // Экология и жизнь. - 1997. - №2-3. - С.27-32.
64. Поздняков, А.В. Добрыми намерениями мостится дорога в ад / А.В. Поздняков // Проблемы устойчивого развития: иллюзии, реальность, прогноз: Материалы VI-го Всероссийского постоянно действующего научного семинара. Томск, 13-15 ноября 2002 г. - Томск: изд-во ТГУ, 2002. - С. 3-17.
65. Доценко, Е.Л. Психология манипуляции: феномены, механизмы и защита / Е.Л. Доценко. - М.: ЧеРо, Издательство МГУ, 1997. - 344 с.
66. Minsky, M. Society of Mind / M. Minsky. - NY: Simon & Schuster, 1988. - 336 p.
67. Тарасов, В.Б. От многоагентных систем к интеллектуальным организациям: философия, психология, информатика / В.Б. Тарасов. - М.: Эдиториал УРСС, 2002. - 352 с.
68. Месарович, М. Теория иерархических многоуровневых систем / М. Месарович, Д. Мако, И. Такахара. - М.: Издательство «Мир», 1973. - 344 с.
69. Нариньяни, А.С. Недоопределенные множества - новый тип данных для представления Знаний / А.С. Нариньяни // Препринт ВЦ СОАН СССР. - 1980. - №232. - 28 с.
70. Венда, В.Ф. Системы гибридного интеллекта. Эволюция, психология, информатика / В.Ф. Венда. - М.: Машиностроение, 1990. - 448 с.
71. Грибашев, В.П. Что такое: «Спектральная логика» и «Спектроглобус Грибашева» / В.П. Грибашев, Н.И. Шелейкова. - М.: «Беловодье», 2009. - 352 с.
72. Кобринский, Б.А. Медицинская информатика. / Б.А. Кобринский, Т.В. Зарубина. - 4-е изд., перераб. и доп. - М.: «Академия», 2013. - 192 с.
73. Малая медицинская энциклопедия в 6-ти томах. Т 2: Грудь - Куммеля болезнь / Под ред. Покровского В.И. - М.: «Медицина», 1991. - С. 89.
74. Боткин, С.П. Первая клиническая лекция / С.П. Боткин // Медицинский Вестник. - 1862. - № 41. - С. 392.
75. Диагностика и лечение артериальной гипертензии. Российские рекомендации (четвертый пересмотр) // Системные гипертензии. - 2010. - №. 3. - С. 5-26.

76. Международная статистическая классификация болезней и проблем, связанных со здоровьем. В трех томах. Т.1. Ч.1 / Пер. с англ. М.В. Максимовой, С.К. Чемякиной, Л.Ю. Сафроновой. - 10-ый пересмотр - М.: «Медицина», 1997. - 697 с.

77. Колесников, А.В. Принципы и методология разработки информационных гетерогенных систем двунаправленной гибридизации / А.В. Колесников // Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте: Сб. научных трудов VIII-й Международной научно-практической конференции (Коломна, 18-20 мая 2015 г.). В 2-х томах. - М.: Физматлит, 2015. - Т.1. - С. 36-53.

78. Сорочан, В.В. Психология профессиональной деятельности: конспект лекций / В.В. Сорочан. - М.: МИЭМП, 2005. - 70 с.

79. 2013 ESH/ESC Guidelines for the management of arterial hypertension: The Task Force for the management of arterial hypertension of the European Society of Hypertension (ESH) and of the European Society of Cardiology (ESC) // Journal of Hypertension - Vol. 31(7). - pp. 1281-1357.

80. Национальные рекомендации ОССН, РКО и РНМОТ по диагностике и лечению ХСН: [утверждены на Конгрессе ОССН 7 декабря 2012 года, на Правлении ОССН 31 марта 2013 и Конгрессе РКО 25 сентября 2013 года] // Сердечная недостаточность. - 2013. - Т. 14. - № 7(81).

81. Клинические рекомендации для практикующих врачей, основанные на доказательной медицине: [пер. с англ.] / Под ред. Ю.Л. Шевченко, И.Н. Денисова и др. - 2-е изд., испр. - М.: Гэотар-мед, 2003. - 1248 с.

82. Сумароков, А.В. Клиническая кардиология: руководство для врачей. / А.В. Сумароков, В.С. Моисеев. - 2-е изд., испр. и доп. - М.: «Универсум паблишинг», 1995. - 238 с.

83. Функциональное состояние почек и прогнозирование сердечно-сосудистого риска. Российские рекомендации // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. - 2008. - Приложение №3. - № 7(6).

84. Национальные рекомендации по диагностике и лечению стабильной стенокардии // Сердечная недостаточность. - 2008. - Приложение №4. - № 7(6).

85. Национальные рекомендации по диагностике и лечению острой сердечной недостаточности. Российские рекомендации. Секция артериальной

гипертонии ВНОК // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. - 2006. - Приложение №1. - № 5(6).

86. Национальные рекомендации по диагностике и лечению метаболического синдрома. Российские рекомендации. Секция артериальной гипертонии ВНОК // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. - 2007. - Приложение №2. - № 6(6).

87. Дюк, В.А. Data Mining - интеллектуальный анализ данных [Электронный ресурс] / В.А. Дюк. - Электрон. дан. - Режим доступа: <http://inftech.webservis.ru/it/database/datamining/ar2.html/>. - Загл. с экрана.

88. Айвазян, С. А. Прикладная статистика. Классификация и снижение размерности / С.А. Айвазян, В.М. Бухштабер, И.С. Енюков, Л.Д. Мешалкин. - М.: Финансы и статистика, 1989. - 608 с.

89. Айвазян, С.А. Классификация многомерных наблюдений / С.А. Айвазян, З.И. Бежаева, О.В. Староверов. - М.: Статистика, 1974. - 240 с.

90. Карп, В.П. Извлечение знаний из данных и вычислительная поддержка в решении задач распознавания / В.П. Карп // Научный вестник МИРЭА. - 2006. - №1. - С. 103-115.

91. Люгер, Дж.Ф. Искусственный интеллект: стратегии и методы решения сложных проблем: [пер. с англ.] / Дж.Ф. Люгер. - 4-е изд. - М.: «Вильямс», 2003. - 864 с.

92. Барсегян, А.А. Технологии анализа данных: DataMining, VisualMining, TextMining, Olap. / А.А. Барсегян, М.С. Куприянов [и др.]. - 2-ое изд. - СПб: БХВ-Петербург, 2007. - 384 с.

93. Хайкин, С. Нейронные сети: полный курс: [пер. с англ.] / С. Хайкин. - 2-е изд., испр. - М.: «Вильямс», 2006. - 1104 с.

94. Москаленко, Ф.М. «Экспертная система медицинской диагностики, основанная на реальной онтологии медицины, для многопроцессорной ЭВМ» / Ф.М. Москаленко // Труды II-ой международной конференции «Параллельные вычисления и задачи управления» РАСО'2004 памяти Е.Г.Сухова. - М.: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2004. - С.999-1084.

95. Максимов, В.И. Когнитивные технологии для поддержки принятия управленческих решений. Информационное общество [Электронный ресурс] / В.И. Максимов, Е.К. Корноушенко, С.В. Качаев. - Электрон. дан. - Режим доступа:

<http://emag.iis.ru/arc/infosoc/emag.nsf/BPA/092aa276c601a997c32568c0003ab839/>. -

Загл. с экрана.

96. Кузнецов, О.П. Интеллектуализация поддержки управляющих решений и создание интеллектуальных систем / О.П. Кузнецов // Проблемы управления. - 2009. - №. 3.1. - С. 64-72.

97. Назаренко, Г.И. Медицинские информационные системы: теория и практика / Г.И. Назаренко, Я.И. Гулиев, Д.Е. Ермаков; под редакцией Г.И. Назаренко, Г.С. Осипова. - М.: Физматлит, 2005. - 320 с.

98. Осипов, Г.С. Приобретение знаний интеллектуальными системами / Г.С. Осипов. - М.: Наука. Физматлит, 1997. - 112 с.

99. Кулинич, А.А. Когнитивная система поддержки принятия решений «Канва» / А.А. Кулинич // Программные системы и продукты. - 2002. - №3. - С. 25-28.

100. Беляева, М.А. Разработка интегрированной системы поддержки принятия решений по управлению проектами в условиях неопределенности / М.А. Беляева, О.В. Буреш, Т.Н. Шаталова // Вестник Оренбургского государственного университета. - 2011. - № 13. - С. 43-48.

101. Загорулько, Ю.А. Разработка системы поддержки принятия решений для нефтегазодобывающего предприятия / Загорулько Ю.А., Загорулько Г.Б. [и др.] // Труды XII-й национальной конференции по искусственному интеллекту с международным участием (КИИ-2010). Тверь, 20-24 сентября 2010 г.- Москва: Физматлит, 2010. - Т.3. - С. 137-145.

102. Бутенко, Л. Н. Система поддержки принятия решения «Уникум» / Л.Н. Бутенко, Д.П. Олейников, С.П. Олейников // Программные системы и продукты. - 2014. - №1. - С. 97-106.

103. Beer, S. Diagnosing the System for Organisations / S. Beer. - Chichester: Wiley, 1995. - 178 p.

104. Ashby, W.R. Principles of the Self-Organizing Dynamic System / W.R. Ashby // Journal of General Psychology. - 1947. - №37. - pp. 125-128.

105. Глушков, В.М. О кибернетике как науке / В.М. Глушков; под ред. А.И. Берга, Б.В. Бирюкова [и др.] //Кибернетика, мышление, жизнь. - М.: Мысль. - 1964. - С. 53-62.



106. Практическая психология: учебник. / Под ред. д.п.н., проф., акад. БПА М.К. Тутушкиной. - 4-е изд., перераб. и доп. - СПб.: «Дидактика Плюс», 2001. - 368 с.
107. Волкова, В.Н. Основы теории систем и системного анализа / В.Н. Волкова, А.А. Денисов. - 2-е изд. - СПб.: СПбГТУ, 2001. - 511 с.
108. Перегудов, Ф.И. Введение в системный анализ: учебное пособие для вузов / Ф.И. Перегудов, Ф.П. Тарасенко. - М.: Высшая школа, 1989. - 367 с.
109. Каталевский, Д.Ю. Основы имитационного моделирования и системного анализа в управлении / Д.Ю. Каталевский. - М.: Издательство Московского университета, 2011. - 304 с.
110. Крупица, В.В. Личность. Коллектив. Стиль отношений: учебное пособие / В.В. Крупица. - Н. Новгород: ВГИПА, 2002. - 342 с.
111. Самсонова, М.В. Технология и методы коллективного решения проблем: уч. пособие / М.В. Самсонова, В.В. Ефимов. - Ульяновск: УлГТУ, 2003. - 152 с.
112. Виханский, О.С. Менеджмент: учебник / О.С. Виханский, А.И. Наумов. - 6-е изд., перераб. и доп. - М.: Магистр: ИНФРА-М, 2014. - 656 с.
113. Richmond, B. The «thinking» in systems thinking: Seven essential skills / B. Richmond. - MA: Pegasus Communications, 2000. - 26 p.
114. Малая медицинская энциклопедия в 6-ти томах. Т 2: Грудь - Куммеля болезнь / Под ред. Покровского В.И. - М.: «Медицина», 1991. - С. 488.
115. Попков, В.В. Всеобщая инженерная наука Габриэля Крона / В.В. Попков // Вестник Международного Института А. Богданова. - 2000. - №3.
116. Копысов, С.П. Объектно-ориентированный метод декомпозиции области / С.П. Копысов, И.В. Красноперов, В.Н. Рынков // Вычислительные методы и программирование. - 2003. - Т. 4. - № 1. - С. 176-193.
117. Гергель, В.П. Теория и практика параллельных вычислений: учебное пособие / В.П. Гергель. - 2-ое изд. - М.: НОУ «Интуит», 2016. - 500 с.
118. Немнюгин, С.А. Модели и средства программирования для многопроцессорных вычислительных систем / С.А. Немнюгин. - М.: НОУ «Интуит», 2010. - 201 с.
119. Орлов, С.А. Технологии разработки программного обеспечения: учебник для вузов / С.А. Орлов, Б.Я. Цилькер. - 4-е изд. - СПб.: Питер, 2012. - 608с.

120. Зудбинов, Ю.И. Азбука ЭКГ / Ю.И. Зудбинов. - 3-е изд. - Ростов-на-Дону: «Феникс», 2003. - 169 с.
121. Staessen, J. The increase in blood pressure with age and body mass index is overestimated by conventional sphygmomanometry / J. Staessen, E. O'Brien [et. al.] // *American Journal of Epidemiology*. - 1992. - Vol. 136. - pp. 450-459.
122. Гаврилова, Т.А. Инженерия знаний. Модели и методы / Т.А. Гаврилова, Д.В. Кудрявцев, Д.И. Муромцев. - СПб.: Лань, 2016. - 324 с.
123. Штовба, С.Д. Проектирование нечетких систем средствами Matlab / С.Д. Штовба. - М.: Горячая линия - Телеком, 2007. - 288 с.
124. Дюк, В.А. Компьютерная психодиагностика / В.А. Дюк. - СПб.: Братство, 1994. - 364 с.
125. Поспелов, Д.А. Знания и рассуждения в гуманитарных науках / Д.А. Поспелов, О.П. Кузнецов // *Новости искусственного интеллекта*. - 1996. - №2. - С. 93-98.
126. Дубровин, В.И. Интеллектуальные средства диагностики и прогнозирования надежности авиадвигателей / В.И. Дубровин, С.А. Субботин, А.В. Богуслаев, В.К. Яценко. - Запорожье: ОАО «Мотор-Сич», 2003. - 279 с.
127. Губернаторов, В.П. Модификация эволюционно-генетического алгоритма для построения оптимальных тестовых последовательностей / В.П. Губернаторов // *Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского Информационные технологии*. - 2012. - Т. 3. - №. 1. - С. 179-183.
128. Haupt, R. *Practical Genetic Algorithms* / R. Haupt, S. Haupt. - New Jersey: John Wiley & Sons, 2004. - 261 p.
129. Subbotin, S. Entropy Based Evolutionary Search for Feature Selection / S. Subbotin, A. Oleynik // *Proceedings of the IX International Conference The experience of designing and application of CAD systems in Microelectronics (CADSM-2007)*. Polyana, Ukraine, 20-24 February 2007. - Lviv: Publishing house of Lviv Polytechnic, 2007. - pp. 442-443.
130. Айвазян, С.А. Прикладная статистика. Основы моделирования и первичная обработка данных / С.А. Айвазян, И.С. Енюков, Л.Д. Мешалкин. - М.: Финансы и статистика, 1983. - 471 с.

131. Айвазян, С.А. Прикладная статистика. Статистическое оценивание зависимостей / С.А. Айвазян, И.С. Енюков, Л.Д. Мешалкин. - М.: Финансы и статистика, 1985. - 484 с.
132. Налимов, В.В. Теория эксперимента / В.В. Налимов. - М.: Наука, 1971. - 208 с.
133. Александров, В.В. Анализ данных на ЭВМ (на примере системы СИТО) / В.В. Александров, А.И. Алексеев, Н.Д. Горский. - М.: Финансы и статистика, 1990. - 192 с.
134. Лоули, Д. Факторный анализ как статистический метод / Д. Лоули, А. Максвелл. - М.: Мир, 1967. - 144 с.
135. Харман, Г. Современный факторный анализ / Г. Харман. - М.: Статистика, 1972. - 486 с.
136. Иберла, К. Факторный анализ / К. Иберла. - М.: Статистика, 1980. - 398 с.
137. Аджемов, С.С. Снижение размерности признакового пространства в задачах идентификации излучающих объектов / С.С. Аджемов, М.В. Терешонок, Д.С. Чиров // Технология. - 2008. - №6. - С. 24-27.
138. Доленко, С.А. Решение обратных задач оптической спектроскопии с помощью искусственных нейронных сетей: дисс. ... канд. ф.-м. наук: 01.04.05, 05.13.18 / С.А. Доленко. - Москва, 2002. - 151 с.
139. Virtual medical consultation [Электронный ресурс] / [Scientific Committee; President Dr István Novorka]. - Электрон. дан. - Режим доступа: <http://virtual-consultation.com/spine/en/>. - Загл. с экрана.
140. Medsker, L.R. Hybrid Intelligent Systems / L.R. Medsker. - Boston: Kluwer Academic Publ., 1995. - 298 p.
141. MathWorks Inc. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.mathworks.com/>. - Загл. с экрана.
142. Gensym Inc. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.gensym.com/>. - Загл. с экрана.
143. Гультияев, А.К. MATLAB 5.2: Имитационное моделирование в среде Windows: практическое пособ. / А.К. Гультияев. - СПб.: Корона принт, 1999. - 288 с.
144. Емельянов, В.В. Интеллектуальная имитационная среда PDO-IDS для моделирования сложных систем и процессов / В.В. Емельянов, С.И. Ясиновский //

Труды VI-й национальной конференции по искусственному интеллекту с международным участием КИИ'98. Пущино, 5-11 октября 1998 г.- М.: РАИИ. - Т.2. - С. 510-517.

145. IntelliCorp Inc. Kappa-PC Ver. 2.4: user Manual. - CA: IntelliCorp Inc, 1997.

146. Плавунов, Н.Ф. Роль артериальной гипертонии в структуре и исходах госпитализаций многопрофильного скоромощного стационара / Н.Ф. Плавунов, В.В. Степанова [и др.] // Артериальная гипертензия. - 2004. - Т. 10. - №3. - С. 30-36.

147. The research source for complex physiologic signals [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://physionet.org/>. - Загл. с экрана.

148. Рагайян, Р.М. Анализ биомедицинских сигналов: пер. с англ. / Р.М. Рагайян; Под ред. А.П. Немирко. - М.: Физматлит, 2007. - 440 с.

149. Петрухин, В.А. Использование сравнительного анализа последовательных векторэлектрокардиограмм для оценки локальных изменений миокарда / В.А. Петрухин, В.Н. Мамаев, Р.В. Дроздов // Комп'ютерні засоби, мережі та системи. - 2005. - № 4. - С. 131-137.

150. Новикова, В. Искусственный интеллект и экспертные системы: учебное пособие / В.А. Новикова, Е.Ю. Андреева, Д.К. Туйкина. - Курск: КГУ, 2004. - 45 с.

151. Галимзянов, Ф.В. Заболевания периферических артерий (Клиника, диагностика, лечение) [Электронный ресурс] / Ф.В. Галимзянов // Международный журнал экспериментального образования. - Электрон. дан. - 2014. - № 8. - С. 113-114. - Режим доступа: [www.rae.ru/meo/?section=content&op=show\\_article&article\\_id=5913/](http://www.rae.ru/meo/?section=content&op=show_article&article_id=5913/). - Загл. с экрана.

## ПРИЛОЖЕНИЯ

### Приложение А. Акты о внедрении



МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта»  
(БФУ им. И. Канта)

Утверждаю  
Первый проректор  
ФГАОУ ВО «БФУ им. И. Канта»



И.Ю. Кукса

«01» июля 2016 г.

#### А К Т

**о внедрении результатов диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук в учебный процесс Балтийского федерального университета им. Иммануила Канта**

Наименование диссертации: «Исследование методов поддержки принятия коллективных диагностических решений и разработка инструментальных средств «Виртуальный консилиум» (на примере диагностики артериальной гипертензии)».

Автор: Румовская София Борисовна

Научный руководитель: д.т.н., профессор Колесников Александр Васильевич

Консультант: к.м.н., заслуженный врач РФ, врач-кардиолог высшей категории,

Пасоркина Татьяна Васильевна

Выполнена в аспирантуре БФУ им. И. Канта и Калининградском филиале Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук в период с «01» февраля 2011 г. по «01» августа 2015 г. в рамках НИР «Прогресс» (2013–2015 гг.). Результаты использовались в проекте РФФИ (проект № 16-07-00272 А) и в НИР «Аватар» (2016 гг.).

Внедрена в учебный процесс БФУ им. И. Канта на основании решения директора Физико-технического института, к.ф.-м.н., доцента Шпилевого Андрея Алексеевича.

1. Вид результатов внедренных в учебный процесс: модель диагностического процесса (гетерогенной диагностики), алгоритм синтеза над гетерогенным модельным полем интегрированной модели знаний коллективного принятия решения и инструментальная среда «Виртуальный консилиум».

2. Область применения: лекционные и практические занятия по дисциплинам «Основы теории принятия решений», «Интеллектуальные системы и технологии», для

студентов очной формы обучения по направлению 09.03.02.62 — «Информационные системы и технологии», квалификация бакалавр.

3. Форма внедрения: раздел в курсе лекций, испытательный стенд, методические указания по разработке систем поддержки принятия решений на примере «Виртуального консилиума для диагностики артериальной гипертензии».

4. Основные публикации по теме диссертации:

Кириков И.А., Колесников А.В., Румовская С.Б. Исследование сложной задачи диагностики артериальной гипертензии в методологии искусственных гетерогенных систем // Системы и средства информатики, 2013. Т. 23. Вып. 2. С. 96–114;

Кириков И.А., Колесников А.В., Румовская С.Б. Функциональная гибридная интеллектуальная система поддержки принятия решения при диагностике артериальной гипертензии // Системы и средства информатики, 2014. Т. 24. Вып. 1. С. 153–179;

Кириков И.А., Колесников А.В., Румовская С.Б. Исследование лабораторного прототипа искусственной гетерогенной системы для диагностики артериальной гипертензии // Системы и средства информатики, 2014. Т. 24. Вып. 3. С. 121–143;

Кириков И.А., Колесников А.В., Листопад С.В., Румовская С.Б. «Виртуальный консилиум» — инструментальная среда поддержки принятия сложных диагностических решений // Информатика и ее применения, 2016. Т. 10. Вып. 3. (принята к публикации).

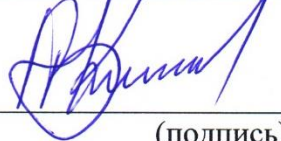
5. Эффект от внедрения — повышение качества образования: развитие компетенций студентов в исследовании неоднородных диагностических задач и особенностей коллективного принятия решений, в технологии разработки гибридных интеллектуальных информационных систем, в разработке информационных систем поддержки принятия коллективных диагностических решений.

Директор Физико-технического  
института  
к.ф.-м.н., доцент А.А. Шпилевой



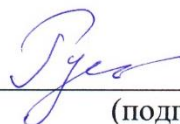
(подпись)

Научный руководитель  
д.т.н., профессор кафедры телекоммуникаций А.В. Колесников



(подпись)

Автор программист 1 категории  
Калининградского филиала  
ФИЦ ИУ РАН  
С.Б. Румовская



(подпись)

Утверждаю  
 Заместитель главного врача  
 по медицинской части,  
 заслуженный врач РФ  
 к. м. н.



И.И. Вайсбейн

**об экспериментальном использовании результатов кандидатской диссертации Румовской Софии Борисовны на тему «Исследование методов поддержки принятия коллективных диагностических решений и разработка инструментальных средств «Виртуальный консилиум» (на примере диагностики артериальной гипертензии)» в Диагностическом центре Калининградской областной клинической больницы**

Составлен «1» июня 2016 г. в Государственном бюджетном учреждении здравоохранения «Областной клинической больнице Калининградской области» (КОКБ) на основании тестирования результатов диссертационной работы Румовской Софии Борисовны «Исследование методов поддержки принятия коллективных диагностических решений и разработка инструментальных средств «Виртуальный консилиум» (на примере диагностики артериальной гипертензии)» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.01 — «Системный анализ, управление и обработка информации (информационно-вычислительное обеспечение)».

Настоящий акт составлен комиссией в составе: заместителя главного врача по медицинской части, к.м.н. заслуженного врача РФ И.И. Вайсбейна; к.м.н., заслуженного врача РФ, врача-кардиолога высшей категории Т.В. Пасоркиной; старшего научного сотрудника Калининградского филиала Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук, профессора кафедры телекоммуникаций Физико-технического института БФУ им. И. Канта, д.т.н., профессора А.В. Колесникова в том, что:

1. Результаты диссертационной работы С.Б. Румовской на тему «Исследование методов поддержки принятия коллективных диагностических решений и разработка инструментальных средств «Виртуальный консилиум» (на примере диагностики артериальной гипертензии)» экспериментально протестированы в практической деятельности врача-кардиолога при приеме пациентов;

2. Программный комплекс ВКДАГ «Виртуальный консилиум для диагностики артериальной гипертензии» был протестирован во время приема врача-кардиолога в Диагностическом центре КОКБ на данных из пятидесяти медицинских карт пациентов и имеет практическую значимость для амбулаторно-поликлинических учреждений широкого профиля (фельдшерско-акушерские пункты, амбулатории, медико-санитарные части, поликлиники), где из-за проблемы с кадрами узкой специализации заключение о состоянии больного принимает чаще

всего один специалист — терапевт или врач общей практики, иногда кардиолог, не имеющий опыта работы.

Благодаря использованию результатов указанной диссертационной работы удалось повысить качество устанавливаемого полного дифференциального диагноза артериальной гипертензии до формата и полноты клинического эпикриза без увеличения общего времени диагностики, поскольку применение «Виртуального консилиума для диагностики артериальной гипертензии» снижает время на обработку результатов обследования (сбор анамнеза, физикальное обследование и при необходимости лабораторное обследование) и оформление заключения.

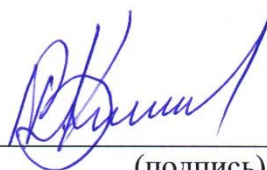
Проведенные эксперименты показали, что система в 40% случаях выдавала решения более высокого качества по сравнению с работой врача без применения ПП ВКДАГ, что свидетельствует об адекватности модели системы поддержки принятия коллективных диагностических решений, используемой в программном комплексе ВКДАГ «Виртуальный консилиум для диагностики артериальной гипертензии».

Научный консультант  
к.м.н., заслуженный врач РФ,  
врач-кардиолог высшей категории  
Т.В. Пасоркина



(подпись)

Научный руководитель  
д.т.н., профессор А.В. Колесников



(подпись)

Автор программист 1 категории  
Калининградского филиала  
ФИЦ ИУ РАН  
С.Б. Румовская



(подпись)



## Приложение Б. Расшифровка введенных обозначений

Таблица Б.1 – Отношения интеграции знаний технологических и/или функциональных подзадач из декомпозиции неоднородной задачи диагностики АГ

Обозначение отношения интеграции	Наименование
1	2
$r_{int}^{dop} (PЭКГ, ДАГ_1)$	Отношение дополнения одних знаний другими – логические знания готовят информацию о патологиях сердца человека в подзадаче распознавания и интерпретации ЭКГ (передаются посредством интерфейса $PЭКГ \ ДАГ_1 \zeta$ для работы лингвистических знаний в подзадаче диагностики поражений органов-мишеней)
$R_{int}^{upr} (ППС_{1-9}, ДАГ_{1-9})$	Отношения «препроцессия» генетическими знаниями подмножества подзадач $ППС_{1-9}$ лингвистических знаний соответствующих подзадач из подмножества $ДАГ_{1-9}$ (передаются посредством соответствующих девяти однотипных интерфейсов $ППС_{1-9} \ ДАГ_{1-9} \zeta$ )
$R_{int}^{dop} (ДАГ_{1-9}, ССС)$	Отношения дополнения одних знаний другими – лингвистические знания готовят информацию о патологиях организма человека и данные о признаках состояния здоровья человека в подзадачах $ДАГ_{1-9}$ для работы логических знаний в подзадаче $ССС$ (посредством соответствующих девяти однотипных интерфейсов $ДАГ_{1-9} \ ССС \zeta$ )
$r_{int}^{dop} (СМАД, ССС)$	Отношение дополнения одних знаний другими – лингвистические знания готовят информацию о данных по суточному мониторингованию АД пациента в подзадаче $СМАД$ для работы логических знаний в подзадаче $ССС$ (посредством интерфейса $СМАД \ ССС \zeta$ )

Таблица Б.2 – Элементы отношений между исходными данными, и целями неоднородной задачи диагностики артериальной гипертензии, а также целями и исходными данными однородных подзадач соответственно

Обозначение элемента отношения	Наименование
1	2
$G$	Диагноз – заключение о сущности болезни и состоянии пациента
$G_{PЭКГ}^h$	Диагностировать патологических состояний на ЭКГ, установление соответствия состояния пациента норме
$G_{СМАД}^h$	Анализ показаний суточного мониторирования АД пациента
$G_{ППС_{1-9}}^h$	Оптимизировать набора показателей состояния здоровья для диагностики заболеваний и рисков АГ
$G_{ДАГ_{1-9}}^h$	Выявить факторы риска АГ, поражения органов-мишеней, ассоциативные клинические состояния, вторичную эндокринную или почечную АГ, либо оценить состояния пациента как норму
$G_{ССС}^h$	Оценить степень и стадию АГ, риск сердечно-сосудистых заболеваний
$D$	Показатели состояния здоровья пациента и их значения ( $x_1$ ), а также множества субъектов ( $x_2$ ), объектов ( $x_3$ ) и задач диагностики ( $x_4$ )
$D_{PЭКГ}^h$	Образ электрокардиосигнала пациента ( $x_5$ )
$D_{СМАД}^h$	Пол ( $x_6$ ), возраст ( $x_7$ ) и данные суточного мониторирования АД пациента ( $x_8$ )
$D_{ППС_{1-9}}^h$	Множество $S_p = \{ S_{p_i}   i = \overline{1,9} \}$ подмножеств показателей, значения которых определяют заболевание ( $\{x_{9i}\}$ )
$D_{ДАГ_{1-9}}^h$	Множество симптомов из областей 1 – 9 ( $\{x_{10i}\}$ )
$D_{ССС}^h$	Отклонение от нормы $\Delta СМАД \in \{0;100\}$ ( $x_{11}$ ), результатное множество диагноза $Rez$ ( $x_{12}$ ) и множество показателей здоровья $S_{p_{10}}$ для подзадачи $ССС$ ( $x_{13}$ )

## Приложение В. Чертежи видеокладов

Структурные элементы Виртуального консилиума

### Структурные элементы системы ВКДАГ

— Построение информативного набора признаков для диагностики:

- Поражение органов мишеней
- Факторы риска
- Цереброваскулярные заболевания
- Метаболический синдром и сахарный диабет
- Заболевания периферических артерий
- Ишемическая болезнь сердца
- Эндокринная АГ
- Паренхиматозная нефропатия
- Реноваскулярная АГ

— Диагностика критериев оценки сердечно-сосудистого риска и вторичной АГ у пациента:

- Поражение органов мишеней
- Факторы риска
- Цереброваскулярные заболевания
- Метаболический синдром и сахарный диабет
- Заболевания периферических артерий
- Ишемическая болезнь сердца
- Эндокринная АГ
- Паренхиматозная нефропатия
- Реноваскулярная АГ

Оценка степени и стадии АГ, степени риска ССЗ     Распознавание и интерпретация электрокардиограммы     Анализ суточного мониторирования АД

Рисунок В.1 – Форма «Структурные элементы системы ВКДАГ»

Анамнез

### АНАМНЕЗ

ФИО

Пол:  женский  мужской    Возраст  лет

Семейный анамнез ранних ССЗ:

- Болезнь сосудов головного мозга
- Болезнь периферических артерий
- Врожденный порок сердца
- ИБС
- Ревмокардит
- Тромбоз глубоких вен
- Эмболия легких

непродуктивный кашель

дельта веса за нед.

Моча:

- задержка мочеиспускания
- затрудненное мочеиспускание
- струя мочи прерывается и возобновляется при смене положения тела
- цвет мочи
- моча ночь/сутки
- мочеиспускание
- кровь в моче
- недержание мочи
- ночные позывы
- "водное отравление"
- недомогание
- озноб
- курит
- ФА
- обильный менструис

В анамнезе:

- аденома предстательной железы
- инфаркт
- СД
- аменорея или импотенция
- нефроптоз
- аномалии развития почек и мочевых путей
- НГП
- баллонная ангиопластика или АКШ
- стенокардия
- мочекаменная болезнь
- удалена щитовидка
- атаки острого пиелонефрита или острого цистита
- травмы позвоночника или мочеполовых органов
- пароксизмы желудочковой тахикардии

Боли:

- в ногах только при значительной физической нагрузке
- в ногах при ходьбе на расстояние до 200 м
- в ногах при ходьбе на расстояние в 25 м или в покое
- не связаны с физ нагрузкой
- стихает и возобновляется несколько дней
- не купируются нитратами

локализуется в левой половине грудной клетки или в межлопаточном пространстве, иррадирует в спину и нередко распространяется в эпигастрий

передается в шею, челюсть, руки, спину или даже зубы

иррадируют по всей половине грудной клетки, левой руке и левой лопатке

в шейно-затылочной области  за грудиной или/и в груди

в горле, руке, лопатке  при мочеиспускании

в костях и суставах  в области сердца

усиление боли  в одной половине головы

в эпигастрии давящие  при пальпации почек

головная  в животе  в пояснице

внизу живота, паху, половых органах  тупая и ноющая

раздирающие или режущие

колющая, жгучая, ноющая, режущая давящая

несколько приступов боли после первого кратковременного облегчения

длительность менструиса

Рисунок В.2 – Форма «Анамнез»

Анамнез (продолжение)

**АНАМНЕЗ (продолжение)**

слабость  
 в верхних конечностях  
 в нижних конечностях  
 в одной руке/ноге  мышечная  
 в руке и ноге с одной стороны

бессонница  Отсутствует  
 сухость во рту  Отсутствует  
 приливы  Отсутствует

потоотделение  Отсутствует  
 снижение памяти  Отсутствует  
 ухудшение зрения  Отсутствует

снижение работоспособности/аппетита  Отсутствует  
 тяжесть, давление в груди/загрудиной  Отсутствует  
 перебои в работе сердца  Отсутствует  
 ощущение тяжести в ногах  Отсутствует  
 неприятный вкус во рту  Отсутствует

обмороки  Отсутствует  
 головокружение  Отсутствует  
 тошнота  Отсутствует

оргоноз  Отсутствует  
 остановки дыхания во сне  Отсутствует  
 смена настроения  Отсутствует  
 судороги ног  Отсутствует  
 утомляемость  Отсутствует

рвота  Отсутствует  
 несварение  Отсутствует  
 изжога  Отсутствует

копоти  Отсутствует  
 жажда  Отсутствует  
 вялость  Отсутствует

сонливость  Отсутствует  
 метеоризм  Отсутствует  
 жар  Отсутствует

одышка при нагрузке  Отсутствует  
 одышка в покое  Отсутствует

положение в постели  горизонтально  
 выпадение волос  Отсутствует  
 стул  Нормальный

признаки ГЛЖ

приступы  
 в пальцах анемия, жжение, бледность, цианоз, в конце краснеет  
 ишемии - возникают редко, затем учащаются  
 спонтанное исчезновение  
 с судорогами на одной стороне и расширенным зрачком

эпилептиформные припадки  Отсутствует  
 после плотного обеда  Отсутствует  
 после психического или физического напряжения  Отсутствует  
 можно ослабить после успокоения и нитроглицерина  Отсутствует  
 после курения, охлаждения или утомления пальцев  Отсутствует

длительность ТИА  Отсутствует  
 начинается внезапно и учащается  Отсутствует  
 длительность приступа стенокардии  Отсутствует  
 длительность приступа ишемии  Отсутствует

САД макс  ДАД макс

Далее Отмена Диагноз (предварительный)

Рисунок В.3 – Форма «Анамнез (продолжение)»

Физикальное обследование

**ФИЗИКАЛЬНОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ**

ФИО

№ карты

САД  ДАД

Пuls

Лицо и голова  
 бледность носогубного треугольника  
 выпученность глаз  цианоз губ  
 парез зрачка полушарного типа  
 ишемия носа, ушей, подбородка  
 лицо лунообразное  отек верхних век  
 периорбитальный отек век  
 пигментация век  отек нижних век  
 тупое выражение лица  
 увеличение языка  отеки на лице  
 цианоз кончика носа  набухание век  
 цианоз носогубного треугольника  
 отпечатки зубов на языке  
 подергивание глазных яблок при взгляде в сторону

цвет лица   
 полнокровное  
 волосяной покров кожи лица и конечностей   
 нормальный  
 жир в области лица и туловища   
 норма

зоб выражен  голос низкий  
 дыхание хриплое  голос хриплый  
 затруднение носового дыхания  
 симптом Пастернацкого положительный  
 щитовидная железа труднопальпируема  
 печень увеличена

Пальцы рук и ног, мышцы  
 атрофия мышц  параличи или парезы в противоположных  
 миопатия  в противоположных очагу поражения конечностях  
 подергивание мышц  парезы и/или парестезии в сочетании с центральным парезом лицевого или  
 паралич слева  ломкость и деформация ногтей подъязычного нерва  
 паралич справа  некроз и гангрена мягких тканей пальцев  
 мышцы плеч увеличены  поражение нескольких пальцев  
 ригидность мышц затылка  симметричность поражения пальцев  
 ригидность мышц ног  цианоз кончиков пальцев  
 отёчность пальцев

Тело и кожа  
 гнойнички  трофические язвы  двусторонние запысыны  
 кожа влажная  кожа сухая  бурситы и синовиты  
 кожа дряблая и коричневая  отеки ног  вирилизация  
 уремическая пудра  кожный зуд  жир над ключицами  
 претибиальная микседема  тремор  и/или на шее с затылком  
 кожа шероховатая  расчесы  норма  
 тонкие конечности  кожа бледная  цвет кожи области груди  
 утончение кожи  полосы растяжения  полнокровная  
 венозный рисунок на груди и конечностях  отек поясницы  цвет кожи мест трения  
 кровоподтеки  отек поясницы  светлая  
 отеки  теплосложение  температура кожи  
 Отсутствуют  нормостеническое  нормальная

Поведение и состояние  
 афазия  замедленность психических процессов  
 возбужденное состояние, больной не находит места от боли  
 заторможенность  нарушение понимания речи  
 нарушение внимания  плаксивость  
 паралич справа

лихорадка  ЧДД  тест ходьбы (6 мин)   
 Отсутствует  норма

температура тела

систолический шум на брюшной аорте  
 шум в боку или верхней части живота  
 хрипы в легких влажнозастойные  
 пульсация магистральных сосудов

ассиметрия давления   
 акцент 2 тона на аорте   
 глухие тоны   
 диастолический шум   
 нитевидный пульс   
 ритм галопа   
 шум трения перикарда   
 пульс на артериях нижних конечностей

Продолжение Отмена

Рисунок В.4 – Форма «Физикальное обследование»

Физикальное обследование (продолжение)

**ФИЗИКАЛЬНОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ (продолжение)**

наджелудочковые нарушения ритма

нарушения сердечного ритма

АД на сосудах лодыжки/на плече

набухшие яремные вены

Отсутствуют

скорость развития неврологической симптоматики

слух

нормальный

хрипы в легких

не выслушиваются

толщина волос

тонкие

Диагноз (предварительный)

Рекомендации по лабораторному обследованию

Далее

Отмена

Рисунок В.5 – Форма «Физикальное обследование (продолжение)»

Рекомендации по лабораторному обследованию

**РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ЛАБОРАТОРНОМУ ОБСЛЕДОВАНИЮ**

ФИО

№ карты

ВУГ  рентген

УЗИ сосудов

УЗИ щитовидной железы

УЗИ брюшной полости

ЭКГ  ЭхоКГ

клиренс креатинина

СКФ  реакция на фентоламин

полный тест на подавляемость функции надпочечников

Анализ крови

ОАК  ночной супрессивный тест  фибриноген

биохимия  МНУП (BNP)  N-концевой МНУП (NT-pro BNP)

активность ренина в крови вены пораженной почки

активность ренина в крови вены здоровой почки

активность ренина в плазме артериальной крови

анализ на гормоны надпочечников

анализ на гормоны щитовидной железы

анализ на половые гормоны

анализ на гормоны гипофиза

АДГ

Анализ мочи

ОАМ  ВМК  суточная экскреция свободного кортизола

альбумин  альбумин/креатинин  преднизалоновый тест

кортизол после дексаметазона  анализ мочи по Нечипоренко

бактериологический анализ  свободные катехоламины

Далее

Отмена

Диагноз (предварительный)

Рисунок В.6 – Форма «Рекомендации по лабораторному обследованию»

Лабораторное обследование

### ЛАБОРАТОРНОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ

ФИО  № карты

**Анализ крови**

ночной супрессивный тест положительный

активность ренина в плазме артериальной крови и крови из вены здоровой почки одинакова  
превышение активности ренина в крови вены пораженной почки относительно здоровой

МНУП (BNP)  N-концевой МНУП (NT-pro BNP)

кортизол  Т3  Т4

DHEA-S  Тестостерон

АКТГ  АДГ  фибриноген

ТТГ

**Биохимия**

сывороточный креатинин <input type="text"/>	ХС ЛНП <input type="text"/>	ХС ЛВП <input type="text"/>
мочевая кислота <input type="text"/>	ТГ <input type="text"/>	ОХ <input type="text"/>
альбумин <input type="text"/>	Na <input type="text"/>	K <input type="text"/>
глюкоза натощак <input type="text"/>	глюкоза после еды/75г глюкозы <input type="text"/>	
общий белок <input type="text"/>	титр антибактериальных антител <input type="text"/>	
C-реактивный белок <input type="text"/>		

**Общий анализ мочи**

гемоглобин  лейкоциты  СОЭ

**Анализ мочи**

альбумин  альбумин/креатинин  ВМК

снижение экскреции кортизола после большой дозы дексаметазона

лейкоциты в 1 мл  микроорганизмы в 1 мл

активные лейкоциты  повышение 17-НОКС после метопирона

преднизалоновый тест положительный  свободные катехоламины

скрининг-тест суточной экскреции свободного кортизола положительный

**Общий анализ мочи**

относительная плотность  осмотическая концентрация

экскреция белка  эритроциты  глюкоза

гиалиновые, зернистые и/или восковидные цилиндры

СКФ  клиренс креатинина

положительный полный тест на подавляемость функции надпочечников

положительный реакция на фентоламин

**БУГ**

нарушение выделения почкой рентгеноконтрастного вещества

дефекты заполнения почечной лоханки и мочеточника или чрезмерная концентрация рентгеноконтрастного вещества в пораженной почке или задержка появления рентгеноконтрастного вещества в пораженной почке или уменьшение размера пораженной почки более чем на 1,5 по сравнению со здоровой

Рисунок В.7 – Форма «Лабораторное обследование»

Лабораторное обследование (продолжение)

### ЛАБОРАТОРНОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ (продолжение)

ФИО  № карты

**ЭКГ**

низкий вольтаж зубцов  желудочковые extrasystoles

уплотнение или инверсия зубца Т  отклонение электрической оси сердца влево

снижение амплитуды комплексов QRS  признаки перегрузки левого предсердия

блокада левой ножки пучка Гиса  признаки рубцового поражения миокарда

корнельское произведение  признак Соколова-Лайона

**рентген**

гидроторакс  увеличено сердце

полисерозит  расширение средостения

малая амплитуда сокращений  серозный выпот

**ЭхоКГ**

зоны акинеза миокарда  ТЗСЛЖ/РЛЖ  ИММЛЖ

ВИВР  ФВ ЛЖ  размеры сердца

**УЗИ**

патологические показатели РКИ  деформация чашечно-лоханочной системы

камни в почках  изменения ангиоархитектоники почки

образования в надпочечниках  атеросклеротические бляшки магистральных сосудов

почки увеличены и сморщены  замедление заполнения ЛЖ в раннюю диастолу

щитовидная железа увеличена  уменьшение диастолической растяжимости камеры ЛЖ

щитовидная железа уменьшена  двусторонняя гиперплазия надпочечников

ТИМ  скорость распространения пульсовой волны между сонной и бедренной артериями

Рисунок В.8 – Форма «Лабораторное обследование (продолжение)»

Диагноз

ФИО

№ карты

Степень артериальной гипертензии

оптимальное  нормальное  высокое

1 степень  2 степень  3 степень

Риск сердечно-сосудистых заболеваний

незначительный  умеренный  очень высокий

низкий  высокий

Стадия гипертонической болезни

1 стадия  2 стадия  3 стадия

ДИАГНОЗ

Ассоциативные клинические состояния

Цереbroваскулярные болезни

мерцательные или нарастающие неврологические симптомы  ТИА

признаки поражения ядер черепно-мозговых нервов  аномалии

аномалии  блефароспазм  симптомы выпадения

эмболия мозговых сосудов  ишемический МИ

психические отклонения  геморрагический МИ

ИБС

инфаркт миокарда  тахикардия

гепатомегалия  кардиомиегалия

ХСН  ФК1  ФК2  ФК3

ортопноэ  стенокардия

была коронарная реваскуляризация?

Заболевания периферических артерий

отек легких  аортальная недостаточность  тяжелый коллапс  расслаивающаяся аневризма аорты

заболевание Рейно  атеросклеротическое поражение нижних конечностей

Вторичная АГ. Паренхиматозная.

протеинурия  гематурия  макрогематурия

цитлиндурия  альбуминурия  нефротический синдром

гипотензия  гиперлипидемия  гипопальбуминемия

уремия  лейкоцитоз  почечная эклампсия

никтурия  диурез  диабетическая нефропатия

хронический гломерулонефрит  бактериурия  анемия

лейкоцитурия  бактериурия  полиурия  полиурия  хронический пиелонефрит

Поражения органов-мишеней

кардиопатия  нарушения ритма сердца

гипертоническая энцефалопатия  поражение почек

ГЛЖ  поражение сосудов

Факторы риска

ИС  СД  курение  нарушение ритма сердца

АО  НТГ  НФА  поражение почек

семейный анамнез ССЗ  ГЛЖ  поражение сосудов

Вторичная АГ. Эндокринная.

акроцианоз  остеопороз  гирсутизм  камни в почках

синдром Кушинга  АКТГ-секретирующая микроаденома гипофиза

или гипоталамо-гипофизарная дисфункция

гиперплазия надпочечников из-за АКТГ-секретирующей макроаденомы гипофиза

АКТГ-продуцирующая опухоль неэндокринного происхождения или опухоль надпочечников

врожденная гиперплазия надпочечников  гиперметаболизм

симпатоадреналовый криз  феохромоцитомы

венадпочечниковые хромафиновые опухоли  микседема  микседематозный отек

полиурия  гипотиреоз  гипотиреоз  гипотиреоз

микседематозное сердце  гипотиреоз

Вторичная АГ. Реноваскулярная.

атеросклероз почечных артерий  стеноз почечных артерий

на УЗИ разница в размере почек

Инициализировать ВКДАГ заново

Сохранить заключение

Рисунок В.9 – Форма «Диагноз»

## Приложение Г. Структура Виртуального консилиума в Simulink

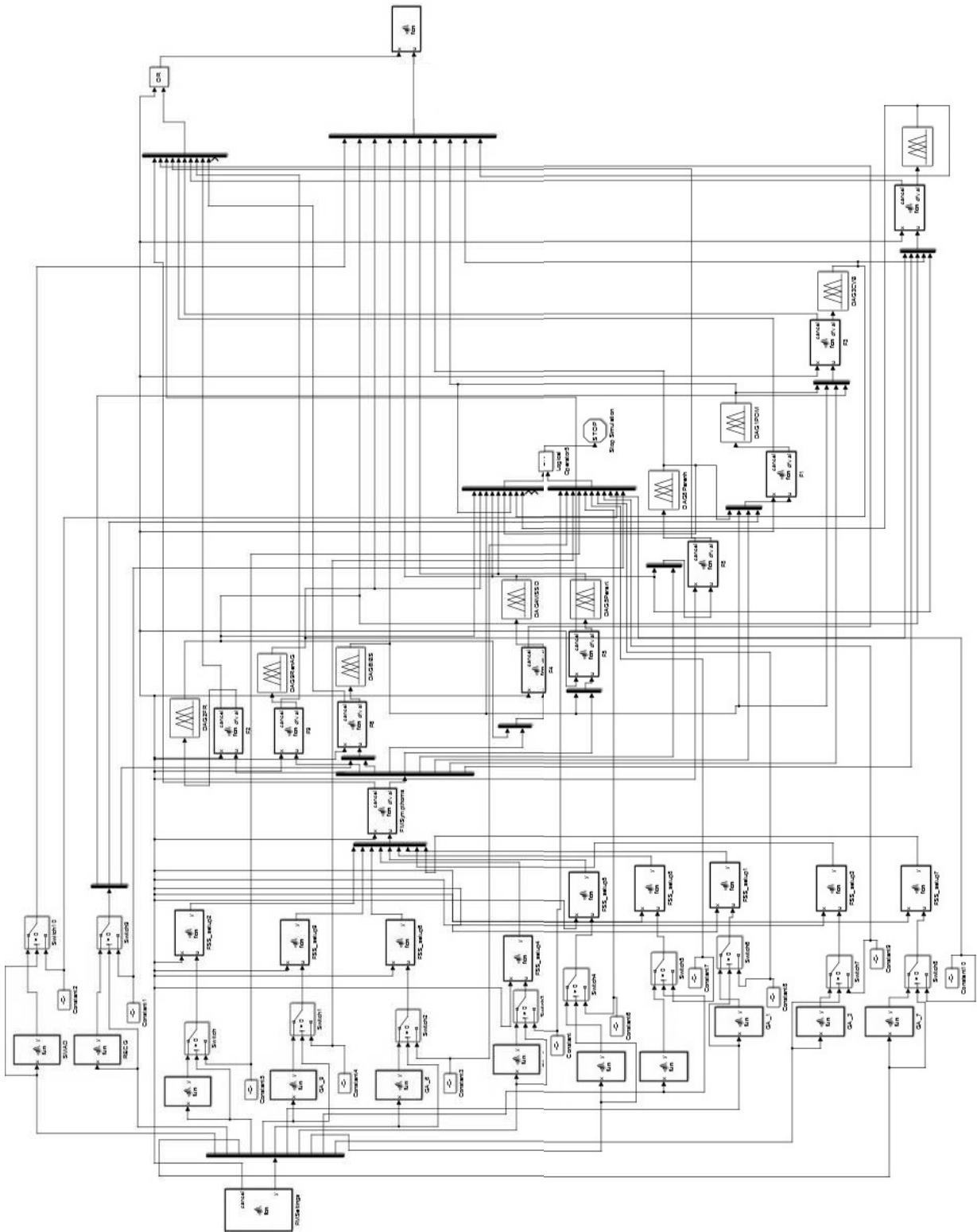


Рисунок Г.1 – Схема структуры виртуального консилиума в Simulink



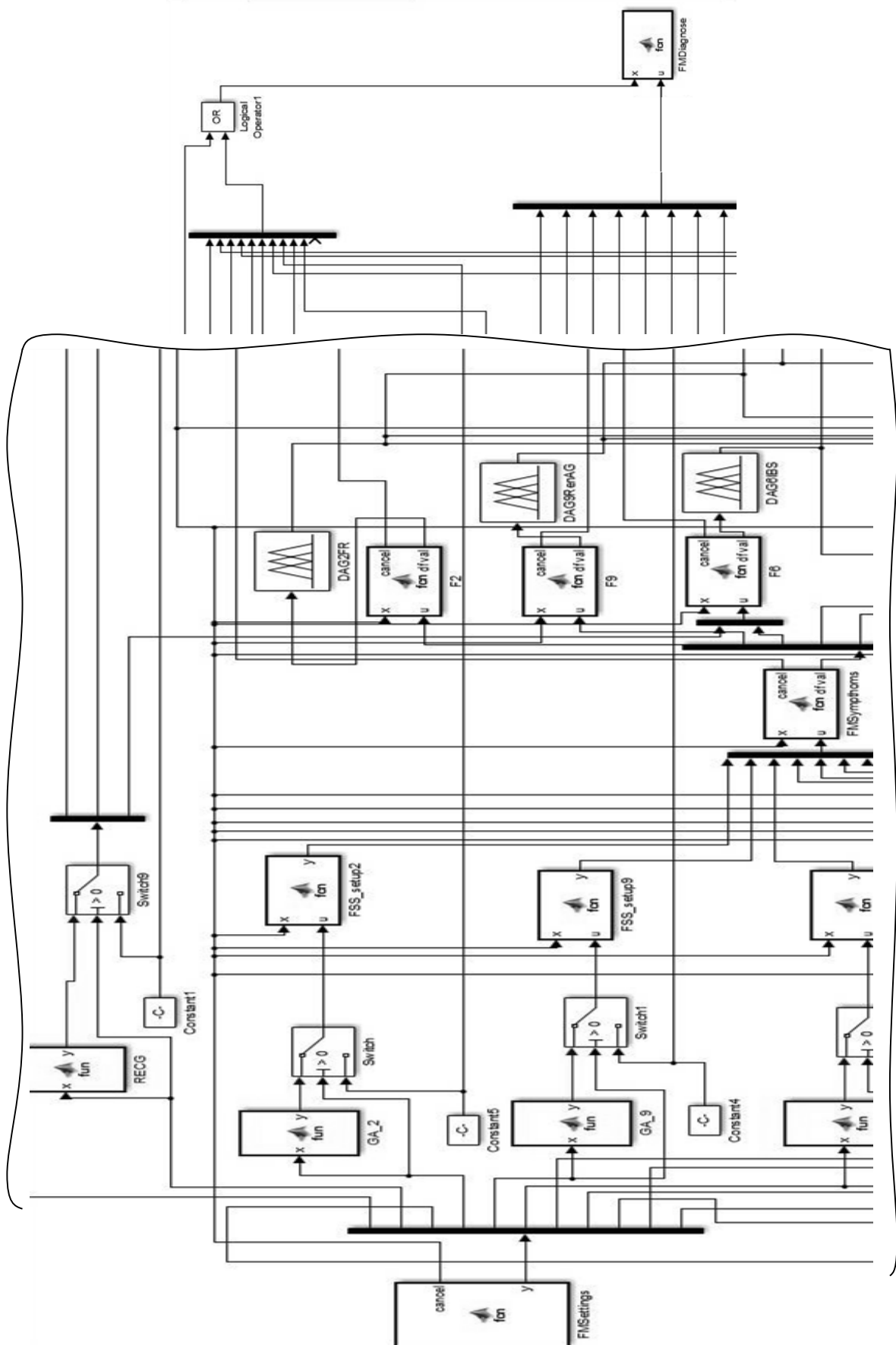


Рисунок Г.2 – Укрупненная часть схемы структуры виртуального консилиума в Simulink

**Приложение Д. Результаты проверки адекватности правил  
диагностической базы знаний на примере модели нечеткой  
системы для диагностики поражений органов-мишеней**

№	Правила диагностической нечеткой базы знаний	Номера медкарт, подтверждающих факт использования правила
1	2	3
1	ЕСЛИ Боли в области сердца колющие, жгучие, ноющие, реже давящие ( <i>heartpain</i> ) = интенсивные ИЛИ Боли, иррадирующие по всей половине грудной клетки, левой руке и левой лопатке ( <i>rainirr</i> ) = НЕ Отсутствуют ИЛИ Боли не связаны с физ нагрузкой ( <i>disconfiz</i> ) = ИСТИНА ИЛИ Боли не купируются нитратами ( <i>ncirnit</i> ) = ИСТИНА, ТО Кардиалгия ( <i>kardial</i> ) = 1	135, 245, 283, 334, 348, 363
2	ЕСЛИ пароксизмы желудочковой тахикардии ( <i>geltah</i> ) = ИСТИНА ИЛИ наджелудочковые нарушения ритма ( <i>nadjelnarr</i> ) = ИСТИНА ИЛИ желудочковые экстрасистолы ( <i>jelekst</i> ) = ИСТИНА, ТО Нарушение ритма сердца ( <i>narritm</i> ) = 1	135, 245, 283, 334, 348, 363
3	ЕСЛИ ПолМ ( <i>male</i> ) = ИСТИНА И ИММЛЖ ( <i>immlj</i> ) = повышено 1, ТО ГЛЖ ( <i>glj</i> ) = 1	363
4	ЕСЛИ ПолЖ ( <i>female</i> ) = ИСТИНА И ИММЛЖ ( <i>immlj</i> ) = повышено 2, ТО ГЛЖ ( <i>glj</i> ) = 1	348
5	ЕСЛИ Корнельское произведение ( <i>kornel</i> ) = повышено, ТО ГЛЖ ( <i>glj</i> ) = 1	135, 283, 334, 363
6	ЕСЛИ признак Соколова-Лайона ( <i>soklai</i> ) = повышено, ТО ГЛЖ ( <i>glj</i> ) = 1	245, 348
7	ЕСЛИ ПолМ ( <i>male</i> ) = ИСТИНА И ИММЛЖ ( <i>immlj</i> ) = повышено 1 И ТЗСЛЖ/РЛЖ ( <i>tzslj</i> ) = повышено, ТО ГЛЖкон ( <i>gljcon</i> ) = 1	363
8	ЕСЛИ ПолЖ ( <i>female</i> ) = ИСТИНА И ИММЛЖ ( <i>immlj</i> ) = повышено 2 И ТЗСЛЖ/РЛЖ ( <i>tzslj</i> ) = повышено, ТО ГЛЖкон ( <i>gljcon</i> ) = 1	348
9	ЕСЛИ ПолМ ( <i>male</i> ) = ИСТИНА И ИММЛЖ ( <i>immlj</i> ) = повышено 1 И ТЗСЛЖ/РЛЖ ( <i>tzslj</i> ) = понижено, ТО ГЛЖкон ( <i>gljeks</i> ) = 1	334
10	ЕСЛИ ПолЖ ( <i>female</i> ) = ИСТИНА И ИММЛЖ ( <i>immlj</i> ) = повышено 2 И ТЗСЛЖ/РЛЖ ( <i>tzslj</i> ) = понижено, ТО ГЛЖкон ( <i>gljeks</i> ) = 1	135

Продолжение

1	2	3
11	ЕСЛИ ПолМ ( <i>male</i> ) = ИСТИНА И ИММЛЖ ( <i>immlj</i> ) = норма 1 И ТЗСЛЖ/РЛЖ ( <i>tzslj</i> ) = повышено, ТО РЕМкон ( <i>remcon</i> ) = 1	245
12	ЕСЛИ ПолЖ ( <i>female</i> ) = ИСТИНА И ИММЛЖ ( <i>immlj</i> ) = норма 2 И ТЗСЛЖ/РЛЖ ( <i>tzslj</i> ) = повышено, ТО РЕМкон ( <i>remcon</i> ) = 1	283
13	ЕСЛИ Обмороки ( <i>obmor</i> ) = часто И Головокружения ( <i>golovokr</i> ) = часто И Кардиалгия ( <i>kardial</i> ) = ИСТИНА И Приступы стенокардии = ИСТИНА И ЧДД ( <i>HDD</i> ) = повышена И Нарушение ритма сердца ( <i>narritm</i> ) = ИСТИНА, ТО ГЛЖ ( <i>glj</i> ) = 1	135, 245, 283, 334, 348, 363
14	ЕСЛИ ТИМ ( <i>tim</i> ) = повышено ИЛИ На УЗИ атеросклеротические бляшки магистральных сосудов ( <i>aterbl</i> ) = ИСТИНА ИЛИ АД на сосудах лодыжки / АД плеча ( <i>adsadr</i> ) = понижено ИЛИ скорость распространения пульсовой волны на участке между сонной и бедренной артериями ( <i>vpulsvoln</i> ) = повышена, ТО Поражение сосудов ( <i>porsosud</i> ) = 1	5, 100, 245, 283
15	ЕСЛИ ПолЖ ( <i>female</i> ) = ИСТИНА И Мочевая кислота в крови ( <i>tochkiskr</i> ) = повышено 1, ТО Гиперурикемия ( <i>giperurik</i> ) = 1	5
16	ЕСЛИ ПолМ ( <i>male</i> ) = ИСТИНА И Мочевая кислота в крови ( <i>tochkiskr</i> ) = повышено 2, ТО Гиперурикемия ( <i>giperurik</i> ) = 1	20, 42
17	ЕСЛИ Гиперурикемия ( <i>giperurik</i> ) = ИСТИНА ИЛИ СКФ ( <i>skf</i> ) = понижено ИЛИ клиренс креатинина ( <i>klkr</i> ) = понижено ИЛИ Альбумин в крови ( <i>albkr</i> ) = средне ИЛИ Экскреция белка с мочой = повышено, ТО Поражение почек ( <i>porroch</i> ) = 1	5, 20, 42
18	ЕСЛИ ПолМ ( <i>male</i> ) = ИСТИНА И Альбумин/креатинин в моче ( <i>albkrtoch</i> ) = повышено 1, ТО Поражение почек ( <i>porroch</i> ) = 1	5
19	ЕСЛИ ПолЖ ( <i>female</i> ) = ИСТИНА И Альбумин/креатинин в моче ( <i>albkrtoch</i> ) = повышено 2, ТО Поражение почек ( <i>porroch</i> ) = 1	20, 42