



**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)»

**АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ**  
на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

**Москва 2017**

Работа выполнена в Калининградском филиале, созданном на базе федерального государственного учреждения «Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук»

- Научный руководитель: доктор технических наук, профессор  
**Колесников Александр Васильевич**
- Научный консультант: кандидат медицинских наук,  
заслуженный врач Российской Федерации,  
**Пасоркина Татьяна Васильевна**
- Официальные оппоненты: **Кузнецов Олег Петрович**,  
доктор технических наук, профессор  
ФГБУН Институт проблем управления им В.А. Трапезникова Российской академии наук, заведующий лабораторией «Методов интеллектуализации дискретных процессов и систем управления»  
**Гулиев Ядулла Иман-оглы**,  
кандидат технических наук,  
ФГБУН Институт программных средств им. А.К. Айламазяна Российской академии наук, руководитель Исследовательского центра медицинской информатики
- Ведущая организация: ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт»

Защита диссертации состоится \_\_\_\_\_ 2017 г. в \_\_\_\_ часов \_\_\_\_ мин на заседании диссертационного совета Д002.073.04 при Федеральном исследовательском центре «Информатика и управление» Российской академии наук по адресу: 117312, Москва, проспект 60-летия Октября, 9 (конференц-зал, 1-й этаж).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук по адресу 119333, Москва, ул. Вавилова д.40.

Электронные версии диссертации и автореферата размещены на официальном сайте ФИЦ ИУ РАН <http://www.frccsc.ru>.

Электронная версия автореферата размещена на официальном сайте ВАК Министерства образования и науки РФ по адресу: <http://vak.ed.gov.ru>.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью учреждения, просьба направлять по адресу: 117312, Москва, проспект 60-летия Октября, д. 9, ученому секретарю диссертационного совета Д 002.073.04.

Автореферат разослан « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2017 г.

Телефон для справок: +7(499) 135-51-64

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
Д002.073.04  
д.т.н., профессор

Крутько Вячеслав Николаевич

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** Исследование методов коллективного решения задач и их моделирование является важным направлением научных исследований в области системного анализа и имеет большое практическое значение. Особую роль играет исследование и моделирование коллективного решения сложных 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 – наличие нескольких патологических процессов одновременно, изменяет и осложняет классическую клиническую картину. Это обстоятельство требует участия коллектива специалистов различных профилей в принятии диагностического решения. Зачастую возникает ситуация Р. Ригельмана – наличие атипичных симптомов и симптомов-миражей, что вносит ошибки в диагноз и лечение. Развитие инструментальных методов исследования и контроля состояния объекта диагностики влечет потребность в системах, анализирующих информацию от датчиков. Во всех 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.

Методы и средства моделирования процесса коллективной выработки решений открывают путь снижения рисков неверных диагностических заключений. Развитие таких методов 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, С.А. Гаспаряна, И.М. Гельфанда, А.Н. Горбаня, Е.В. Гублера, Е.С. Енюкова, Ю.И. Журавлева, В.П. Карп, Б.А. Кобринского, А.Н. Колмогорова, А.С. Кронрода, О.И. Ларичева, Л. Ластеда, В.П. Леонова, В.И. Лищука, О.П. Минцера, Н.С. Мисюка, Г.И. Назаренко, Г.С. Осипова, А.Б. Петровского, К.С. Симоняна, Г.А. Хая, Д.С. Чернавского, D. Cullen, P. Fisher, L. Landucci, E.T. Lee, J.H. Van Bommel и других.

Работы указанных специалистов и исследования в области искусственного интеллекта привели к возникновению технологии искусственных гетерогенных систем, в частности, гибридных интеллектуальных систем (ГиИС). Такие системы интегрируют разнородные модели знаний (в дальнейшем – гетерогенное модельное поле), и тем самым моделируют взаимодействие рассуждений в коллективах, принимающих решения.

Разработка на этой основе компьютерных систем поддержки принятия решений существенно повысит качество последних, снизит число ошибок и, соответственно, повысит безопасность принимаемых решений, что свидетельствует об актуальности настоящей работы.

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

**Предмет исследования** – система поддержки принятия решений (СППР), 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 (ГМП), 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 (ЛПР);
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 (ГА), модульные искусственные нейронные многослойные сети с прямым распространением сигнала (ИНС) и продукционные экспертные системы (ЭС); пакет MATLAB–Simulink, оболочка экспертных систем KAPPA PC 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 (КОКБ) показало, что его использование повышает качество диагностических решений, 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 ГиИС. 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:

- Международная научная конференция IT 2010 (Каунас, Литва, 2010 г.);
- VII-я Международная научно-техническая конференция (Коломна, 2013 г.);
- 57-я Международная научная конференция RTU (Латвия, Рига, 2013 г.);
- 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.);
- XVI-я Всероссийская научно-техническая конференция «Нейроинформатика-2014» (Москва, 2014 г.);
- Международная научно-методическая конференция «Информатизация инженерного образования» ИНФОРИНО-2014 (Москва, 2014 г.);
- II-ой Международный Пospelовский симпозиум «Гибридные и синергетические интеллектуальные системы» ГИСИС'2014 и I-я Международная Пospelовская летняя школа-семинар «Методы и технологии гибридного и синергетического искусственного интеллекта» (Светлогорск, 2014 г.);
- XVI-я Международная конференция «Системный анализ и информационные технологии» САИТ-2015 (Светлогорск, 2015 г.);
- II-я молодежная научная конференция «Задачи современной информатики» ЗСИ-2015 (Москва, 2015 г.);
- IV-я Всероссийская научная конференция молодых ученых с международным участием «Информатика, управление и системный анализ» ИУСА-2016 (Москва, 2016 г.);
- III-ья Всероссийская Пospelовская конференция с международным участием «Гибридные и синергетические интеллектуальные системы» ГИСИС'2016 (Светлогорск, 2016 г.);
- XV-я национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-2016 (Смоленск, 2016 г.).

**Публикации.** По теме диссертационной работы имеется 17 печатных публикаций объемом 31,1 п. л. (из них 8,9 авторских), в том числе 1 коллективная монография, 4 статьи в научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ, объемом 3,94 п. л. (из них 2,7 авторских) и 11 публикаций в трудах международных и всероссийских конференций.

**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.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обосновывается актуальность работы. Ставятся цель и задачи исследования. Рассматриваются объекты и методы исследования. Обоснованы научная новизна, достоверность, практическая значимость результатов диссертационной работы. Представлены положения, выносимые на защиту. Приведены сведения о реализации и апробации результатов исследования.

В **первой главе «Анализ проблемы коллективной выработки решений и постановка задач диссертационной работы»** 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.

Выполнен аналитический обзор методов интеграции знаний по видам деятельности (ЛПР, консультант, эксперт), по жизненному циклу решения проблем (А.Б. Петровский) и по критериям, характеризующим «выразительные возможности» методов: разнообразие информации, относительность знаний, взаимодействие и сотрудничество экспертов, динамичный, ситуативный синтез интегрированной модели. Исследованы методы рационального коллективного выбора (М.А. Айзерман и Ф.Т. Алескеров; В.С. Левченков; П. Фишберн и др.); группового многокритериального выбора (Л.Г. Евгланов, В.А. Кутузов; О.И. Ларичев; А.Б. Петровский; Дж. Александер, Т. Саати и др.); методы гибридных систем: от простейшей  $H_w$ -модели до сетевой структуры (W. Kohn, A. Nerode; A. Puri, P. Varaija; G. Walsh; W. Witsenhausen); агрегативные системы (Н.П. Бусленко); интегрированные методы: многомодельные (Я.А. Гельфандбейн, А.В. Колесников, И.Д. Рудинский); системы, основанные на знаниях (Г.С. Осипов); системы распределенного

интеллекта (В.Н. Вагин, А.П. Еремеев) и т.д.; нечеткие эволюционные много-агентные 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.).

Исследование методов и средств поддержки принятия диагностических решений в медицинской информатике, в частности, позволило установить что:

1. В большинстве случаев разработчики игнорируют такое свойство процесса диагностики различных объектов, как гетерогенность;
2. Отсутствуют модули, распознающие различные аспекты и фазы диагностического процесса;
3. Программно-технические средства имеют статичную функциональную структуру без возможности синтеза требуемой интегрированной модели знаний в зависимости от конкретной диагностической ситуации.

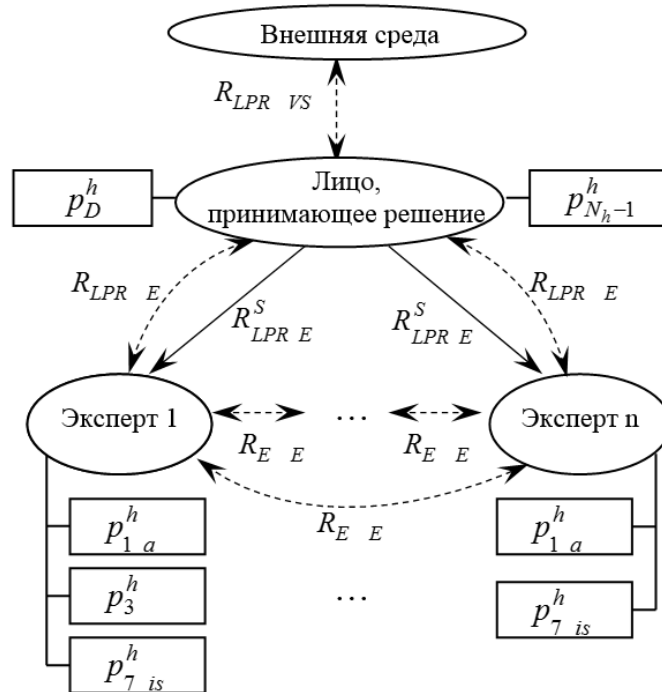
Указанные недостатки существующих подходов приводят к необходимости решения ряда задач, сформулированных выше. Для этого в работе построена концептуальная модель выработки решения (на примере диагностического процесса). Созданная концептуальная модель процесса выработки решения позволила определить и исследовать: объект диагностики; субъект диагностики – консилиум, включающий лицо, принимающее решение, и экспертов; измерительную систему; потоки сопроводительной и нормативно-справочной информации.

Неоднородные задачи диагностики (НЗД), в частности, характеризуются составным характером и разнообразием информации, описываются моделями «неоднородная задача» и «однородная задача», со свойствами зашумленности, нечеткости исходных данных. НЗД специфицируются несколькими методами формализованного представления систем и включают контроль состояния и функционирования объекта диагностики, выявление и локализацию отклонений. Интегративное свойство неоднородной задачи не сводится к сумме свойств составляющих её подзадач.

Согласно закону необходимого разнообразия У.Р. Эшби, только разнообразная, скоординированная аналитическая деятельность, элементы которой в комбинации решают одну задачу, сделает результат диагностики качественно лучше. Специфике такой работы соответствует коллективный труд врачей-экспертов в малых группах – консилиумах (рис. 1). Концептуальная модель консилиума расширена подзадачами, распределенными между участниками, и подзадачей ЛПР по формированию диагностического заключения из декомпозиции  $P^h$  неоднородной задачи диагностики  $p_D$ .

Одна подзадача может решаться одним экспертом (например,  $p_3^h$  – рис. 1) или требуются знания нескольких экспертов и тогда: либо частные заключения по подзадаче можно аддитивно объединить лицом, принимающим решение, в одно ( $p_{1a}^h$ ); либо необходима интеграция и согласование ЛПР частных заключений по

соответствующей подзадаче ( $p_{7\ is}^h$ ). В работе исследованы первые два случая. ЛПР может решать не только задачу  $p_D^h$  интеграции частных мнений экспертов, формируя решение задачи, но и участвовать в решении подзадач, если его знания необходимы ( $p_{N_h-1}^h$ ).



Обозначения:

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

Рис. 1. Концептуальная модель консилиума

В настоящее время неоднородные задачи диагностики лучше всего решают коллективы экспертов, что подтверждает актуальность моделирования коллективной выработки решения посредством ГиИС.

Программно-техническая реализация консилиума – «Виртуальный консилиум» – инструментальная среда поддержки принятия диагностических решений для синтеза и реализации метода решения неоднородных задач, моделирующая работу системы «ЛПР – эксперты», интегрирующая разнородные знания экспертов и способная имитировать как рассуждения отдельных участников консилиума, так и выработку общего решения.

**Вторая глава «Анализ неоднородной задачи выработки решения»** 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.

Построена стратифицированная модель консилиума специалистов, отображающая в искусственных гетерогенных системах относительность знаний экспертов смежных специальностей, которые профессионально лучше, чем ЛПР, знают отдельные аспекты неоднородной задачи.

В результате создаются относительно простые модели, включаемые в гетерогенное модельное поле, реализовать и исследовать которые в целях решения диагностической задачи значительно проще. Качество решения зависит от количества таких выделенных аспектов-страт.

Пусть задана гетерогенная система принятия диагностических 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  $S_j | j=1, 2, 3$ . Тогда можно ввести модель стратификации системы принятия диагностических решений  $S = \langle S_1, S_2, S_3, S_4 \rangle$  с четвертой стратой – стратой лица, принимающего решение:

$$\{S_j: PR_j^X \times ACT_4 \times ACT^{j_1} \rightarrow PR_j^Y\}, \{S_4: PR_4^X \times ACT^L \times ACT_4^4 \rightarrow PR_4^Y\}, \quad (1)$$

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);  $ACT_4$  – множество воздействий ЛПР на экспертов смежных специальностей;  $ACT^{j_1}$  – множество воздействий экспертов страт  $j_1$  на страту  $j$ : поступление значений показателей состояния объекта диагностики и промежуточных заключений от экспертов смежных специальностей;  $ACT^L$  – множество воздействий первых трех страт на четвертую: поступление значений показателей состояния объекта диагностики от экспертов смежных специальностей;  $ACT_4^4$  – множество воздействий частных заключений ЛПР на формирование им заключительного диагноза.

На основе (1) определены модели неоднородной предметной области и неоднородной проблемной среды в медицинской диагностике.

Первым этапом проблемно-структурной методологии разработки ГиИС является идентификация неоднородной задачи выработки решения. На этом этапе формулируются цель, исходные данные для решения неоднородной задачи выработки решения, её идентификатор и спецификатор.

В частности, для исследования неоднородной задачи диагностики артериальной гипертензии (НЗДАГ) применялась смешанная редукция, основанная на рекомендациях комитета экспертов Всероссийского научного общества кардиологов (ВНОК) и на результатах извлечения экспертных знаний. Построена декомпозиция НЗДАГ, включающая 12 диагностических и 9 технологических подзадач (2).

Диагностические подзадачи сгруппированы и проиндексированы в девять областей однородных параметров: поражений органов-мишеней ( $i = 1$ ), 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. Подзадачи специфицированы по концептуальной модели «однородная задача».

$$R_2(p_1, P^h) = \left\{ (p_1, p_{PЭКГ}^h), (p_1, p_{ССС}^h), (p_1, p_{СМАД}^h), (p_1, p_{ДАГ_1}^h), \dots, (p_1, p_{ДАГ_i}^h), \dots, \right. \\ \left. \dots, (p_1, p_{ДАГ_9}^h), (p_1, p_{ППС_1}^h), \dots, (p_1, p_{ППС_i}^h), \dots, (p_1, p_{ППС_9}^h) \right\}, \quad (2)$$

где отношение  $R_2(p_1, P^h)$  – «неоднородная задача диагностики артериальной гипертензии  $p_1$  включает множество подзадач  $P^h$ »;  $p_{PЭКГ}^h$  – подзадача «Распознавание и интерпретация электрокардиограммы» ( $PЭКГ$ );  $p_{ССС}^h$  – подзадача «Оценка степени и стадии АГ, степени риска сердечно-сосудистых заболеваний» ( $ССС$ );  $p_{СМАД}^h$  – подзадача «Анализ суточного мониторирования артериального давления (СМАД)» ( $СМАД$ );  $p_{ДАГ_i}^h$  –  $i$ -ая подзадача из подмножества в девять функциональных подзадач «Диагностика критериев оценки сердечно-сосудистого риска и вторичной артериальной гипертензии у пациента» ( $ДАГ_{1-9}$ );  $p_{ППС_i}^h$  –  $i$ -ая подзадача из подмножества в девять технологических подзадач «Построение информативного набора признаков при диагностике заболеваний из областей 1–9» ( $ППС_{1-9}$ ).

В ходе исследования функциональной неоднородности задачи диагностики разнообразие и терминологическая неоднородность коллектива врачей-экспертов из консилиума сведены к разнообразию и неоднородности переменных и отношений. Исследованы классы переменных в моделях гетерогенного модельного поля НЗДАГ. Это позволило выявить в декомпозиции НЗДАГ три области функциональной неоднородности и тем самым подтвердить необходимость применения междисциплинарных инструментариев.

Выбор методов автоматизированного решения диагностических подзадач и анализ инструментальной неоднородности задачи диагностики АГ выполнен по трехквadrантной матричной информационной модели, содержащей знания «метод–характеристика», «задача–характеристика» и «задача–метод», что позволило задать и исследовать соответствие на множествах диагностических подзадач и базисных методов. Учитывались общие, качественные характеристики методов, чтобы обеспечить требуемую функциональность системы в целом.

Подзадаче  $p_{СМАД}^h$  из декомпозиции (2) сопоставлено множество методов  $\{met_n, met_e\}$ , а подзадаче  $p_{ССС}^h$  – множество методов  $\{met_f, met_e\}$ , разработаны по

две модели –  $\{mod_n_{СМАД}, mod_e_{СМАД}\}$  и  $\{mod_f_{CCC}, mod_e_{CCC}\}$ , соответственно, что констатирует наличие инструментальной неоднородности НЗДАГ. Каждой из оставшихся девятнадцати подзадач сопоставлено по одноэлементному множеству методов решения: каждой подзадаче из подмножества  $p_{ППС_{1-9}}^h - \{met_g\}$ , каждой подзадаче из подмножества  $p_{ДАГ_{1-9}}^h - \{met_f\}$  и подзадаче  $p_{РЭКГ}^h$  «Распознавание и интерпретация электрокардиограммы» –  $\{met_n\}$ . Здесь  $n$  – искусственные нейронные сети,  $f$  – нечеткие системы,  $e$  – экспертные системы и  $g$  – генетические алгоритмы.

В результате анализа неоднородной задачи диагностики АГ установлено, что для формирования полного дифференциального диагноза в консилиум надо включить 13 врачей-экспертов, из которых выбраны шесть, решающих двенадцать функциональных подзадач, возникающих в 90% случаев диагностики АГ, что определило необходимость разработки в составе гетерогенного модельного поля 23 моделей.

В третьей главе «Синтез гибридной интеллектуальной системы для решения неоднородной задачи диагностики» приведены результаты разработки функциональных и технологических моделей гетерогенного модельного поля и алгоритм синтеза метода решения неоднородной задачи диагностики над ГМП.

ГМП виртуального консилиума,  $MOD = \{mod_{i,j}\}$  (3), включает – 14 функциональных моделей: две искусственные нейронные сети (индекс  $i = n$ ), девять НС ( $f$ ), две ЭС ( $e$ ) и технологические модели: девять ГА ( $g$ ). Здесь  $j$  – диагностические подзадачи  $РЭКГ, СМАД, ППС_1, \dots, ППС_9, ДАГ_1, \dots, ДАГ_9, CCC$ .

$$MOD = \{mod_n_{РЭКГ}, mod_n_{СМАД}, mod_g_{ППС_1}, \dots, mod_g_{ППС_9}, mod_f_{ДАГ_1}, \dots, mod_f_{ДАГ_9}, mod_f_{CCC}, mod_e_{CCC}\}. \quad (3)$$

Ниже приведены модели вычислений функциональных и технологических элементов гетерогенного модельного поля: искусственных нейронных сетей – (4), продукционных экспертных систем – (5), нечетких систем Такаги-Сугено – (6) и генетических алгоритмов – (7).

$$\overline{mod}_n = \langle pr^{arch}, X, Y, N, res^{ed\ test}, I^n \rangle, \quad (4)$$

где  $pr^{arch}$  – архитектура ИНС;  $X, Y$  – множество входов и выходов ИНС;  $N$  – множество моделей нейронов ИНС;  $res^{ed\ test}$  – обучающая и тестирующая последова-

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

$$\overline{mod}_e = \langle KB, FB, RB, I^e \rangle, \quad (5)$$

где  $KB$  – база знаний как совокупность символьных правил-продукций;  $FB$  – база фактов как совокупность связанных или несвязанных друг с другом символьных выражений, задающих декларативную, фактографическую информацию, необходимую и достаточную для решения задачи;  $RB$  – база выводов, формируемая интерпретатором  $I^e$  в ходе работы, содержащая информацию о причинах изменений в  $RB$  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  $I^{e1} \rightarrow I^{e2} \rightarrow I^{e3} \rightarrow I^{e4}$ .

$$\overline{mod}_f = \langle \mathbf{X}, \mathbf{Y}, KB, F^\mu, F^{TS}, MET^{Def}, I^f \rangle, \quad (6)$$

где  $\mathbf{X}, \mathbf{Y}$  – пространства входных лингвистических и выходных детерминированных переменных диагностической подзадачи;  $F^\mu$  – множество функций принадлежности пространства входов;  $F^{TS}$  – множество функциональных зависимостей в качестве посылок и заключений в системе Такаги-Сугено;  $MET^{Def}$  – метод дефаззификации;  $I^f = \{I^{f1}, I^{f2}, I^{f3}, I^{f4}\}$  – интерпретаторы фаззификации, агрегирования (правило типа «минимум»), активизации (берутся все четкие значения всех выходных переменных) и дефаззификации (выполняется усреднение), соответственно, работающие по схеме  $I^{f1} \rightarrow I^{f2} \rightarrow I^{f3} \rightarrow I^{f4}$ .

$$\overline{mod}_g = \langle \{I_1, \dots, I_{N_{KB}}\}, N, f_j, I^g \rangle, \quad (7)$$

где  $\{I_1, \dots, I_{N_{KB}}\}$  – популяция индивидуумов;  $N$  – число итераций;  $f_j$  – функция приспособленности, причем  $f_j: \{I_1, \dots, I_{N_{KB}}\} \rightarrow [0; 1]$ ; интерпретатор  $I^g = \{I^{g1}, I^{g2}, I^{g3}, I^{g4}, I^{g5}, I^{g6}, I^{g7}\}$  – включает интерпретаторы инициализации популяции, кодирования, оценки и турнирной селекции индивидуумов, формирования родительской популяции, рекомбинации бинарных кодов, проверки условия окончания работы ГА и отображения наилучшего за  $N$  итераций индивидуума-

решения,  $\xrightarrow{\text{соответственно,}}$  работающие по схеме  
 $I^{g1} \rightarrow I^{g2} \rightarrow I^{g3} \rightarrow I^{g4} \rightarrow I^{g5} \rightarrow I^{g6} \rightarrow I^{g7}.$

В диссертации установлено соответствие множества подзадач из декомпозиции неоднородной задачи диагностики АГ множеству моделей ГМП.

Для моделей из ГМП определены настроечные параметры:

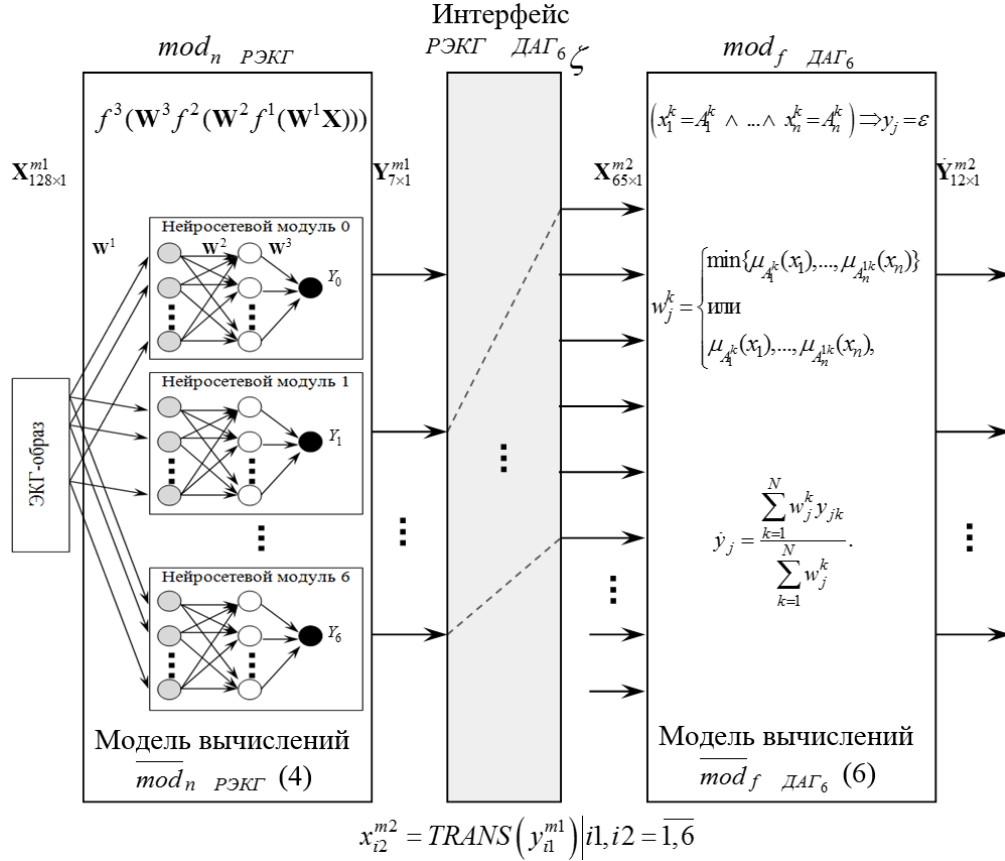
1. Для моделей нечетких систем Такаги-Сугено *МНСДАГ<sub>1-9</sub>* и *МНСССС* для «Диагностики критериев оценки сердечно-сосудистого риска и вторичной АГ у пациента» и «Оценки степени и стадии артериальной гипертензии, степени риска сердечно-сосудистых заболеваний» – алгоритм рассуждений Такаги-Сугено, пространства входов и выходов, функции принадлежности и размеры баз знаний;
2. Для нейросетевых моделей (модульных ИНС) *МИНСРЭКГ* и *МИНССМАД* для «Распознавания и интерпретации электрокардиограммы» и «Анализа СМАД» – архитектура модулей, алгоритм обучения обратного распространения ошибки, логистическая функция активации, число нейронов входного, скрытого и выходного слоев;
3. Для двух альтернативных моделей (продукционных ЭС) *МЭССС* и *МЭС-МАД* для «Оценки степени и стадии АГ, степени риска сердечно-сосудистых заболеваний» и «Анализа СМАД» – базы знаний и базы фактов, механизмы рассуждения и разрешения конфликтов;
4. Для моделей классических генетических алгоритмов *МГАППС<sub>1-9</sub>* технологических подзадач «Построение информативного набора признаков при диагностике заболеваний 1–9» – размеры популяций и индивидуумов, метод селекции, число итераций и функции приспособленности.

Разработан алгоритм синтеза метода решения неоднородной задачи диагностики над ГМП: вход – информация о декомпозиции, моделях ГМП и отношениях между ними, представляющих соответствие на подзадачах и моделях из ГМП; выход – список  $Ls^m = \left\{ \left( mod_{qx} \ x, mod_{qy} \ y, {}^x \ y \zeta \right) \middle| qx, qy \in \{n, e, f, g\} \right\}$ . Моделям постав-

лен в соответствие интерпретатор  $I^v$  ((4)–(7)) для имитации рассуждений и индексы  $n, e, f, g$  указывают на то, что модель разработана по методологии искусственных нейронных сетей, экспертных продукционных систем, нечетких систем или генетических алгоритмов соответственно. В  $Ls^m$  однородные задачи заменяются на модели, в том числе выбранные в соответствии с областями релевантности, а также определены интерфейсы для обмена информацией  ${}^x \ y \zeta$ , где  $x, y$  – подзадачи из декомпозиции неоднородной задачи диагностики  $p_D$ .  $Ls^m$  описывает функциональную структуру ГиИС для решения НЗД как интегрированной модели медицинского консилиума.

Исследовано взаимодействие модели ЛПР (кардиолога) и моделей, содержащих знания экспертов в медицинском консилиуме.

Рассмотрено взаимодействие моделей знаний экспертов в консилиуме на примере обмена информацией через межмодельный интерфейс  $^{PЭКГ} \text{ } ^{ДАГ_6} \zeta$  (рис. 2) модели  $mod_n \text{ } ^{PЭКГ}$  – модель модульной искусственной нейронной сети распознавания ЭКГ (МИНСРЭКГ), моделирующей знания кардиолога, с моделью  $mod_f \text{ } ^{ДАГ_6}$  – модель нечеткой системы диагностики ишемической болезни сердца (МНСДАГ<sub>6</sub>), моделирующей знания уролога и кардиолога.



Обозначения:

$X^{m1}_{128 \times 1}$  – матрица размерности  $128 \times 1$  входного вектора модели модульной искусственной нейронной сети распознавания ЭКГ;  $Y^{m1}_{7 \times 1} = (Y_0, \dots, Y_6)^T$  – матрица размерности  $7 \times 1$  выходного вектора  $mod_n \text{ } ^{PЭКГ}$ ;  $f^1, f^2, f^3$  – операторы логистической функции активации входного, скрытого и выходного слоев;  $W^1, W^2, W^3$  – матрицы синапсических весов входного, скрытого и выходного слоев;  $^{ДАГ_1-9} \text{ } ^{CCC} \zeta$  – интерфейс для обмена информацией между моделями, решающими подзадачи распознавания ЭКГ ( $^{PЭКГ}$ ) и диагностики ишемической болезни сердца ( $^{ДАГ_6}$ );  $i1, i2$  – 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>.

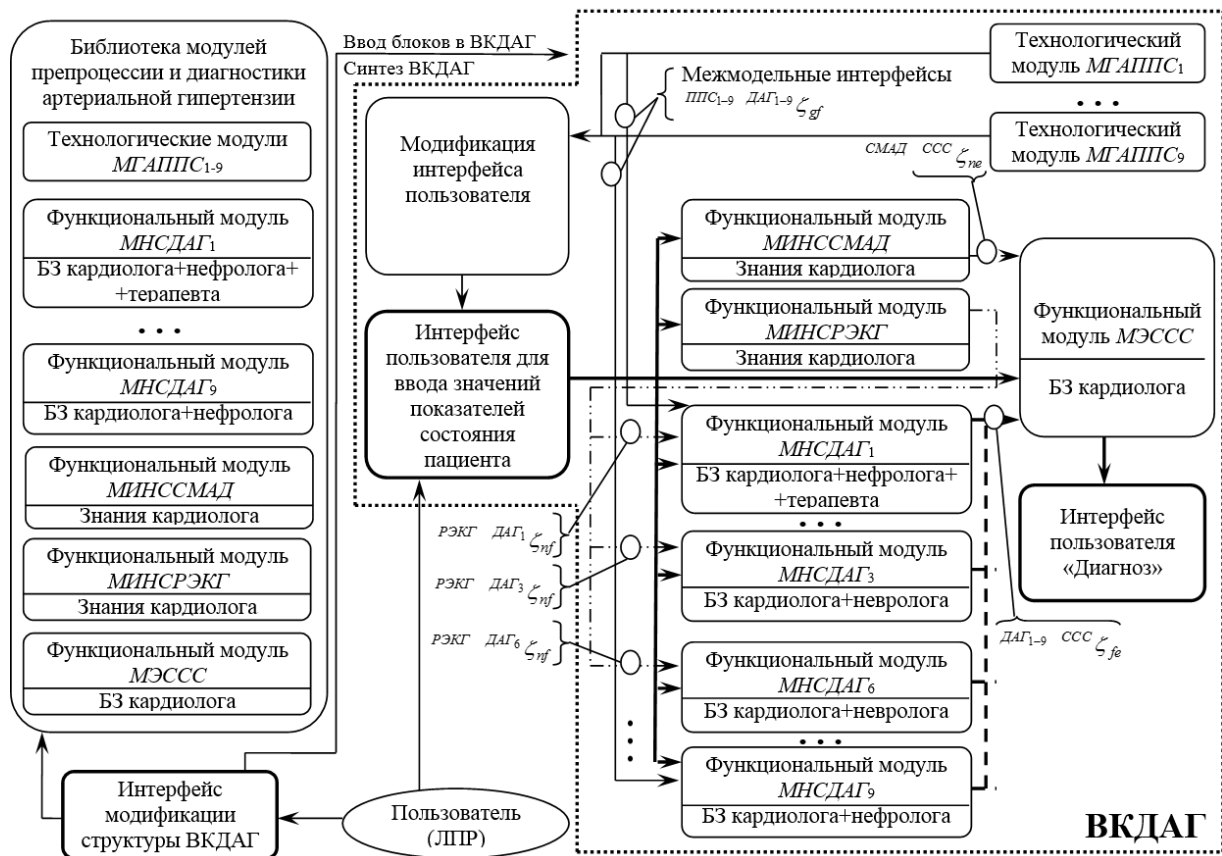
Рис. 2 – Взаимодействие модели искусственной нейронной сети распознавания ЭКГ и модели нечеткой системы диагностики ишемической болезни сердца

Программный интерфейс  $^{PЭКГ} \text{ } ^{ДАГ_6} \zeta$  реализует процедуру  $TRANS$  преобразования выходов  $y^{m1}_{i1} \mid i1 = \overline{1, 6}$  первой модели во входы  $x^{m2}_{i2} \mid i2 = \overline{1, 6}$  второй.

В итоге разработано 23 модели, имитирующие функциональное разнообразие и инструментальную неоднородность ГМП, в том числе, девять технологических элементов, исключая из автоматизированной диагностики АГ избыточные и взаимозависимые показатели. Разработанный алгоритм синтезирует над ГМП метод взаимодействия моделей знаний и функциональную структуру ГиИС для выработки диагноза, в частности артериальной гипертензии.

В четвертой главе «Виртуальный консилиум» – инструментальная среда поддержки принятия диагностических решений» разработана функциональная структура инструментальной среды «Виртуальный консилиум» и её реализация средствами пакета MATLAB–Simulink/оболочки экспертных систем KARPA PC, приведена методика автоматизированного решения неоднородной задачи диагностики АГ с помощью виртуального консилиума для диагностики артериальной гипертензии (ВКДАГ) и рассмотрена разработка баз нечетких знаний для моделирования рассуждений врачей-экспертов.

Разработана функциональная структура инструментальной среды «Виртуальный консилиум» (рис. 3), удовлетворяющая требованиям, сформулированным к её программной реализации.



Обозначения:

БЗ – база знаний;  $n$  – искусственная нейронная сеть;  $f$  – нечеткая система;  $e$  – экспертная система;  $g$  – генетический алгоритм

Рис. 3 Функциональная структура инструментальной среды «Виртуальный консилиум»

ВКДАГ разработан как междисциплинарная модульная ГиИС, комбинирующая методы искусственных нейронных сетей, нечетких систем, экспертных систем, генетических алгоритмов и отображающая функциональную структуру неоднородной задачи диагностики АГ.

Гибкость алгоритма диагностики и интерфейса в виртуальном консилиуме реализована «Интерфейсом модификации структуры СППР», с которым работает пользователь системы непосредственно и модулем «Модификация интерфейса пользователя», запускающимся на основе информации от технологических модулей. В общей сложности создано 83 файла средствами пакета MATLAB–Simulink/оболочки экспертных систем KARPA PC.

Для автоматизированного решения НЗДАГ выработана методика организации диагностического процесса в человеко-машинной системе, раскрывающая логически упорядоченную и целенаправленную последовательность действий, их содержание и исполнителей. Методика предусматривает возможные варианты действий пользователя.

Функции принадлежности входных лингвистических переменных построены методом экспертного опроса. Базы знаний эквивалентны базе знаний Такаги-Сугено нулевого порядка. Пространства входов, выходов и БЗ для каждой НС:

1. Релевантны документам, регламентирующим процесс диагностики АГ и патологий, связанных с АГ, а также результатам бесед с врачом-экспертом Калининградской областной клинической больницы;
2. Введены в компьютер стандартными средствами MATLAB (Fuzzy Logic Toolbox). Предварительно БЗ формировались в текстовом виде, затем факт применения правил в клинической практике подтверждался экспериментально на материале медицинских архивных карт.

**В пятой главе «Экспериментальное исследование инструментальной среды «Виртуальный консилиум» для решения неоднородной задачи диагностики»** исследована неоднородная задачи 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 гетерогенное модельное поле, и тестирование качества интегрированных моделей, синтезированных консилиумом.

Детально исследован диагностический процесс в многопрофильном больничном и в амбулаторно-поликлиническом учреждениях. Выявлены и исследованы объекты, субъекты, ресурсы и средства диагностики, а также специфические особенности и проблематика. Построена концептуальная модель консилиума врачей стационара многопрофильного больничного учреждения как СППР для диагностики АГ.

Определены цели лабораторных экспериментов: исследовать качество моделей ГМП, чтобы подтвердить их перенесение в интегрированную модель; исследовать качество интегрированных моделей, синтезированных виртуальным конси-

лиумом, чтобы подтвердить достоверность основных теоретических положений диссертационной работы.

Проведен количественный анализ критериев тестирования моделей ГМП (чувствительность, специфичность и среднеквадратическая ошибка постановки диагноза пациента) на тестовой выборке из 400 наблюдений – множество симптомов и мнений экспертов по промежуточным заключениям о состоянии здоровья пациента, извлеченные из протоколов осмотров врачами разного профиля в медицинских картах стационарных больных Калининградской областной клинической больницы. Результаты анализа представлены графическими зависимостями и подтверждают адекватность всех моделей процессу диагностики АГ в КОКБ, а также возможность их использования для инициализации интегрированных моделей ВКДАГ.

При исследовании качества интегрированных моделей рассчитаны ошибки совместной работы моделей ГМП, взаимоувязанных межмодельными интерфейсами для обмена информацией между собой при постановке заключительного диагноза. Размер тестовой выборки: 400 наблюдений – 200 с диагнозами эссенциальной артериальной гипертензии и 200 с диагнозами вторичной АГ. Источник тестовой выборки – медицинские карты стационарных больных КОКБ. Ниже представлены критерии и результаты тестирования (рис. 4) интегрированных моделей с различными комбинациями знаний диагностирующих патологическое состояние пациента.

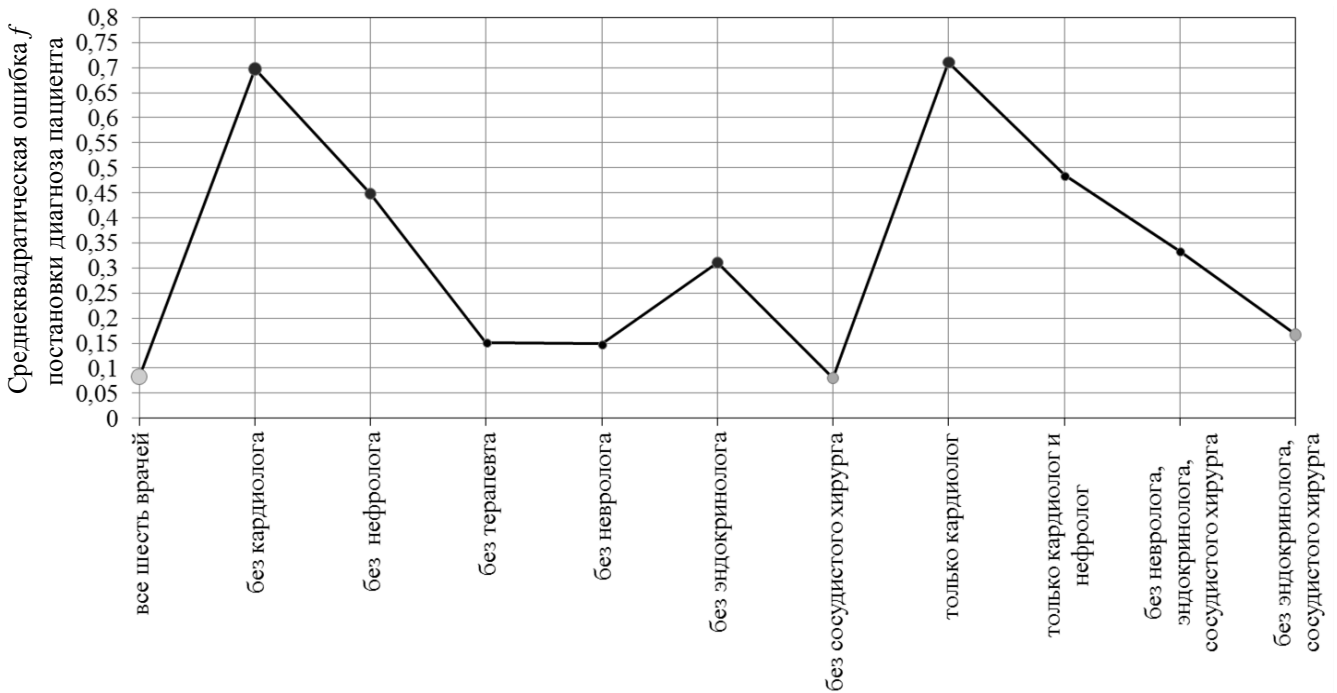
Элемент тестирующей последовательности  $(X_{11}, \dots, X_{1340}; X_{21}, \dots, X_{2128}; Y_1 \dots Y_{100})$ , где  $X_{11}, \dots, X_{1340}$  – лингвистические и лингвистические нечеткие переменные;  $X_{21}, \dots, X_{2128}$  – вектор образа электрокардиосигнала из чисел интервала  $[0,1]$ ;  $Y_1 \dots Y_{100}$  – константы со значениями нуля или единицы – элементы эталонного диагноза.

Источник тестовой выборки – архив медицинских карт пациентов первой Кардиологии Калининградской областной клинической больницы.

Эталонный диагноз – дифференциальный диагноз АГ. Диагноз включает степень и стадию эссенциальной АГ (или гипертонической болезни), класс общего риска сердечно-сосудистых заболеваний, факторы риска, поражения органов-мишеней, ассоциативные клинические состояния и вторичные АГ.

Критерии тестирования:  $f$  – среднеквадратическая ошибка постановки диагноза пациента; время, затрачиваемое врачом, складывается из времени процедуры обследования ( $t_o$ ), времени на обработку результатов ( $t_p$ ) и времени на запись и оформление заключения ( $t_3$ ).

Эксперименты с ВКДАГ ограничены знаниями шести врачей-экспертов разной специализации (кардиолог, невролог, нефролог, терапевт, эндокринолог и сосудистый хирург), пациентами старше 18 без особых состояний, отсутствием распознавания снимков, назначения лечения и диагностики симптоматических АГ.



Состав врачей, знания которых моделировались виртуальным консилиумом

Рис.4 Зависимость среднеквадратической ошибки постановки диагноза пациента от состава виртуального консилиума

Результаты тестирования:  $f$  (знания всех шести врачей) – 0,0837;  $f$  (без кардиолога) – 0,697;  $f$  (без нефролога) – 0,448 (в остальных 55,2% случаях диагноз вызывает доверие);  $f$  (без терапевта) – 0,151;  $f$  (без невролога) – 0,149;  $f$  (без эндокринолога) – 0,311 (в остальных 68,9% случаях диагноз вызывает доверие);  $f$  (без сосудистого хирурга) – 0,0837;  $f$  (используются знания только кардиолога) – 0,711;  $f$  (используются знания только кардиолога и нефролога) – 0,485;  $f$  (только кардиолога, нефролога и терапевта) – 0,334;  $f$  (без знаний невролога, сосудистого хирурга) – 0,167.

Лабораторные эксперименты с прототипом виртуального консилиума дали следующие результаты:

1. С применением виртуального консилиума суммарное время процедуры обследования и обработки результатов ( $t_z + t_p$ ) примерно равно 30 секунд, что снижает общее время диагностики при работе врача в паре с медсестрой;
2. Если исключить знания только кардиолога, или только нефролога, или только эндокринолога, среднеквадратическая ошибка наибольшая – 0,697; 0,448 и 0,311, соответственно – так как кардиолог играет ключевую роль в постановке заключительного диагноза, а нефролог и эндокринолог – в исключении вторичной АГ;
3. Чем шире состав консилиума, тем с меньшей среднеквадратической ошибкой ставится диагноз пациенту, и, соответственно, ВКДАГ в составе шести врачей диагностирует артериальную гипертензию со среднеквадратической

ошибкой постановки диагноза  $f = 0,0837$ , т.е. дает диагноз верный в 92% случаев;

4. Гетерогенный подход виртуального консилиума дает результаты лучше, чем при гомогенном подходе, например, в НИР «Диагноз» (2010 г.) – 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.

**В заключении** приводятся основные выводы и результаты работы.

**В приложения** вынесены поясняющие, вспомогательные материалы, акты о внедрении и практическом исследовании результатов диссертационной работы.

### **ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ**

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.
8. Полученные результаты исследования виртуального консилиума подтверждают эффективность предлагаемого подхода для разработки диагностических систем как ГиИС 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 решений.

## **ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

### **Коллективная монография**

1. 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. – М.: ИПИ РАН, 2011. – 295 с. – 20,28 п. л. (личный вклад – 4 п. л.).

### **Публикации в журналах, рецензируемых ВАК**

2. 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. – 0,86 п. л. (личный вклад – 0,4 п. л.).
3. 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. – 1,2 п. л. (личный вклад – 0,9 п. л.).
4. 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. – 1,15 п. л. (личный вклад – 1 п. л.).

5. 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. – 0,73 п. л. (личный вклад – 0,5 п. л.).

#### Статьи, тезисы докладов

6. 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. – P. 55–68. – 1,03 п. л. (личный вклад – 0,85 п. л.).
7. 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. – 0,52 п. л. (личный вклад – 0,38 п. л.).
8. 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. – 1,04 п. л. (личный вклад – 0,87 п. л.).
9. 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.
10. 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. – 0,57 п. л. (личный вклад – 0,35 п. л.).
11. 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. – 0,38 п. л. (личный вклад – 0,25 п. л.).
12. 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 Пospelовской летней школы-семинара для студентов, магистрантов и аспирантов. – Калининград: Изд-во БФУ им. И. Канта, 2014. – С. 102–112.
13. 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. – 0,73 п. л. (личный вклад – 0,5 п. л.).
  14. 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.
  15. 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 Пospelовской 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. – 0,3 п. л. (личный вклад – 0,2 п. л.).
  16. 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. – 0,64 п. л. (личный вклад – 0,5 п. л.).
  17. 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. – 0,44 п. л. (личный вклад – 0,35 п. л.).

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

Автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук

Подписано в печать \_\_\_\_\_. Заказ № \_\_\_\_\_

Формат 60×90/16. Усл. печ. л. 1. Тираж 100 экз.

Типография \_\_\_\_\_