

21 ЯНВ 1998

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
КУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

---

На правах рукописи

**Жилин Валерий Вячеславович**

**АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ  
МЕДИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СИСТЕМА  
ДЛЯ СЛУЖБ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
ЛЕЧЕБНО-ПРОФИЛАКТИЧЕСКИХ УЧРЕЖДЕНИЙ**

**СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.13.09 – Управление в биологических и  
медицинских системах**

**Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук**

**Курск  
1998**

Работа выполнена в Курском государственном техническом университете

Научные руководители:

доктор медицинских наук, профессор Устинов А.Г.

доктор технических наук,  
профессор Корневский Н.А.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, доцент Попова О.Б.

кандидат медицинских наук Зданевич В.И.

Ведущая организация:

Московская медицинская академия им. Сеченова

Защита диссертации состоится "23" декабря 1998 г.  
в 16 часов на заседании специализированного Совета  
Курского государственного технического университета по адресу  
305040, г.Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

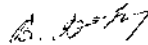
С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета

Автореферат разослан "20" ноября 1998 г.

Ученый секретарь

Специализированного Совета

кандидат технических наук, доцент



Довгаль В.М.

## Общая характеристика работы

Клинические функциональные исследования (КФИ) играют важнейшую роль в практической медицине. Их результаты являются основой для диагностики многих заболеваний, для подбора рационального лечения. Применение функциональных исследований является неотъемлемой частью работ профилактического характера. Данные, получаемые при функциональных исследованиях, являются материалом для дальнейшего развития медицинской науки и практики здравоохранения. Учитывая массовость КФИ, их непосредственное влияние на эффективность диагностики и лечения, во всем мире отчетливо прослеживается тенденция к автоматизации сбора и обработки данных, непосредственно получаемых при проведении исследований.

Количество автоматизированных систем для функциональной диагностики нарастает быстрыми темпами, а их качественные характеристики постоянно улучшаются. В их создании участвуют представители различных областей науки и техники – специалисты в области проектирования систем автоматизации исследований, создания технического и программно-алгоритмического обеспечения.

В настоящее время весьма активно разрабатываются как самостоятельно работающие автоматизированные рабочие места (АРМ) медицинских служб функциональных исследований, так и АРМ служб функциональных исследований, работающих в составе интегрированных информационно-технологических медицинских систем. Второе направление представляется наиболее перспективным, однако работы в этом направлении сдерживаются отсутствием единой методологии проектирования и большой разнородностью исходной информации, связанной с весьма обширным кругом функциональных исследований.

Исходя из вышеизложенного была сформулирована основная цель работы.

Целью диссертации является повышение качества работы лечебно-профилактических учреждений путем разработки автоматизированной информационно-аналитической системы, обеспечивающей информационную и интеллектуальную поддержку врачей функциональной диагностики лечебно-профилактических учреждений.

Для достижения поставленной цели потребовалось решение следующих задач:

1. Определить свойства, структуру и диапазон функций «АРМ функциональных исследований», а так же построить обобщенную схему создания и совершенствования искомого АРМ.
2. Разработать информационно-логическую модель для построения АРМ функциональных исследований и технологию работы персонала, проектирующего и использующего эти АРМы с соответствующей системой дружеских интерфейсов.
3. Предложить способы представления медицинских данных и знаний, необходимых для построения АРМ функциональных исследований и позволяющих проводить их автоматический анализ.
4. Разработать методы оценки качества работы лиц, принимающих решение, использующих АРМ функциональных исследований.
5. Разработать алгоритмы коррекции диагностических решающих правил по данным функциональных исследований.

**Методы исследования.** В работе использовалась методология искусственного интеллекта и ситуационного управления, элементы теории моделирования, распознавания образов и нечеткой логики.

**Научная новизна.**

1. Предложена технология разработки информационно-алгоритмического обеспечения автоматизированных рабочих мест, ориентированных на применение в службах функциональных исследований, сочетающая компьютерное ведение медицинской документации с предложением интеллектуальной поддержки на уровне автоматического принятия основных типов заключений.
2. Разработаны способы формализованного представления медицинских данных и знаний, необходимых для обеспечения компьютерной поддержки профессиональной деятельности медицинских специалистов, формирующих и использующих данные функциональных исследований (диагностика, управление планом дальнейших исследований, принятие тактических рекомендаций).
3. Разработаны элементы проблемно-ориентированного языка, позволяющего путем анализа формальных описаний первичных данных КФИ осуществлять их содержательную интерпретацию.
4. Разработан метод синтеза локальных заключений, позволяющий получать однотипные решающие правила для всех типов функциональных исследований.
5. Предложен метод оценки качества работы лиц, принимающих решение, использующих АРМы функциональных исследований.
6. Разработан алгоритм коррекции диагностических решающих правил по данным функциональных исследований.

### **Практическая значимость работы.**

Разработанные инструментальные средства и методика их применения позволят создавать компьютерные системы, обеспечивающие требуемый уровень информационной и интеллектуальной поддержки деятельности врача функциональной диагностики.

Использование информационно-аналитических систем, разработанных по предлагаемой технологии, в свою очередь, позволяет:

- повысить качество медицинской помощи в лечебных учреждениях общей практики путем предоставления врачу возможности использования информации, отражающей современные достижения в области медицины;
- интенсифицировать деятельность врача за счет освобождения от ведения бумажной документации и оптимизации способов работы со справочными материалами;
- накапливать большие объемы формализованных клинических данных, которые в дальнейшем могут служить основой научных исследований.

Наглядность представления информации позволяет использовать как разработанные информационно-аналитические системы, так и саму инструментальную среду при обучении врачей функциональной диагностики и специалистов в области медицинской информатики.

### **Реализация**

Результаты работы внедрены

- в 79<sup>й</sup> городской клинической больнице г. Москвы;
- используется при обучении студентов 5-6 курсов отделения медицинской кибернетики МБФ РГМУ на практических занятиях по курсу «Клиническая кибернетика»;
- используется в учебном процессе специальности 190500 кафедры БИТАС КГТУ.

### **Апробация**

Результаты работы докладывались и обсуждались на 2-ой международной научно-технической конференции «Космонавтика, радиоэлектроника, геоинформатика» (г.Рязань), на всероссийской научно-технической конференции «Биотехнические, медицинские и экологические системы и комплексы» (г.Рязань), на IV Российской научно-технической конференции «Материалы и управляющие технологии – 97» (г.Курск).

### Публикации:

Результаты диссертации отражены в 5 печатных работах.

### Структура и объем работы:

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, приложений и списка литературы, включающего 123 отечественных и 79 зарубежных наименований. Работа содержит 2 приложения, 28 рисунков и 8 таблиц.

## Содержание работы

Во введении обосновывается актуальность работы, определяются цели и задачи исследования, кратко передается содержание глав диссертации.

В главе 1 кратко характеризуется состояние проблемы в области автоматизации деятельности медицинских служб функциональных исследований. В ней выделяются элементы деятельности персонала клинико-диагностических служб функциональных исследований, подлежащие информатизации, излагаются общие требования к организации процесса разработки медико-технологических систем, а также требования к источникам медицинских знаний и разработчикам информационного и алгоритмического обеспечения, принятые в качестве основы при проведении данной работы.

Во второй главе описывается проблемно-ориентированная среда «терапевтическая автоматизированная информационная система» (ТАИС), которая представляет собой универсальное средство для разработки информационно-аналитических медицинских систем, включая автоматизированные системы функциональной диагностики (ИАС ФД).

В п.2.1 рассматриваются общие принципы организации работы в среде ТАИС трех типов пользователей: медицинского персонала, разработчиков информационно-алгоритмического обеспечения и администраторов. Определяются общие требования к формированию интерфейсов всех типов пользователей. Разрабатывается информационно-логическая модель системы, состоящая из двух автоматизированных рабочих мест (АРМ) – АРМ службы функциональных исследований и АРМ врача диагноста, взаимодействующих между собой в сетевом варианте или при передаче информации с помощью внешних носителей (рис.1.). Каждый из АРМов в своем составе содержит базу данных (БД1 и БД2), базу знаний (БЗ1 и БЗ2), блок адаптации (БА1 и БА2). В базах данных хранятся: формы стандартных документов, оформляемых при организации функциональных исследований; система иерархически организованных вопросников (текстов), позволяющих формировать готовые фрагменты текстов

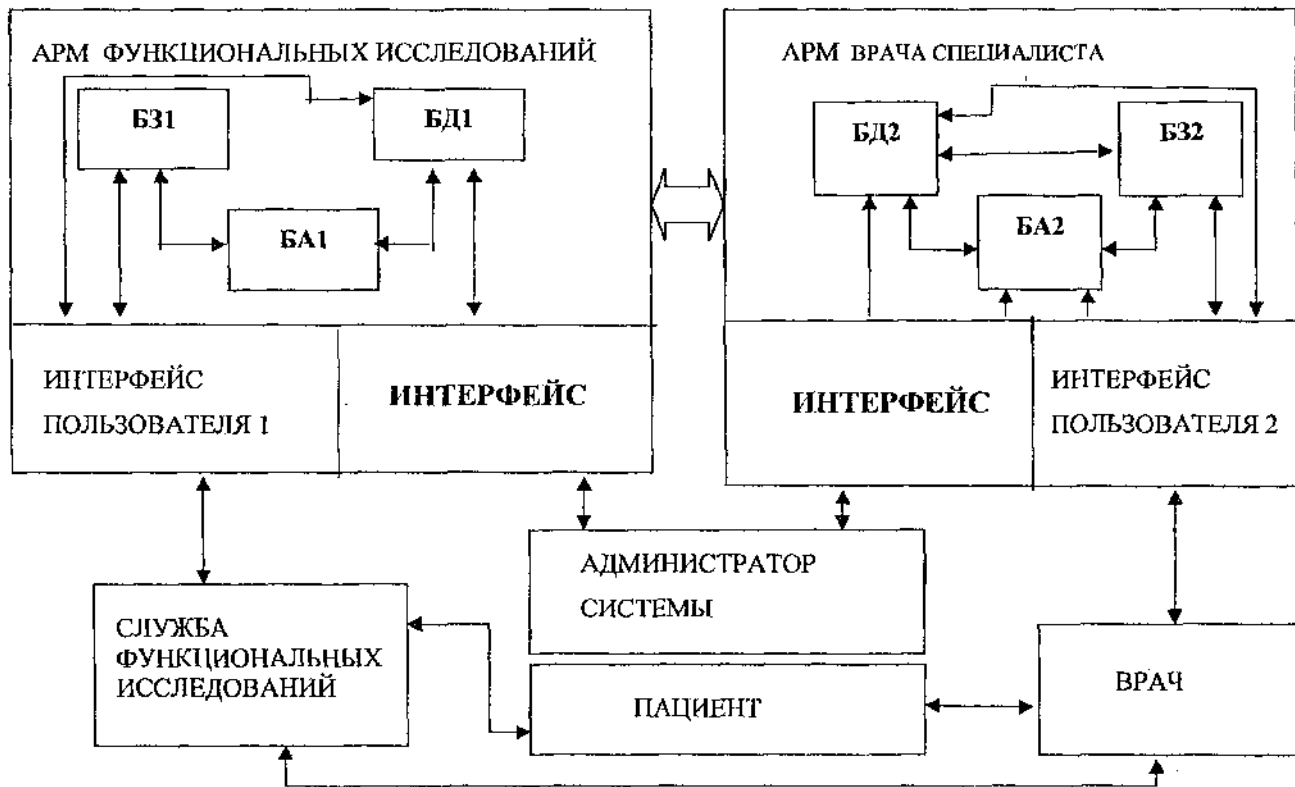


Рис.1.

документов и готовить стандартные траектории проведения обследований; систему необходимой сопровождающей документации и нормативных актов; справочники по службам лечебно-профилактических учреждений и графики работы; данные по обслуживаемым пациентам. В базах знаний хранятся правила принятия решений по данным функциональных исследований, как с четким, так и нечетким выводом. Блоки адаптации позволяют на языке пользователя произвести настройку системы под конкретные запросы пользователей, структуры и оснащенность автоматизируемого лечебного учреждения. Взаимодействие пользователей с системой осуществляется на языке пользователей через систему дружеских интерфейсов. В функции администратора входят задачи контроля за деятельностью системы и начального определения законов и параметров ее функционирования.

**В п.2.2** описан интерфейс системы ТАИС, поддерживающий назначение функциональных диагностических исследований. Особое внимание уделяется вопросам сохранения традиционной врачебной работы в сочетании с требованиями, накладываемыми особенностями информационных технологий.

**В п.2.3** рассматриваются вопросы проектирования интерфейса, поддерживающего ввод результатов функциональных диагностических исследований. Этот интерфейс определяет параметры сеансов работы, позволяет выбирать пациента, формирует схемы и результаты обследования. Все используемые бланки и вопросы для их заполнения хранятся в специальных разделах базы данных.

**В п.2.4** описан интерфейс ИАС ФД, ориентированный на разработчика информационно-алгоритмического обеспечения. Этот интерфейс представляет собой систему иерархических меню со специальными заголовками. Под заголовком «Разработчик» и «Каталог» указываются идентификаторы разработчика и место на диске, где хранится его информация. Под заголовком «Информационная база» объединены редакторы локальных для конкретной системы баз данных.

**Третья глава** посвящена вопросам реализации компьютерной поддержки основных элементов деятельности врача функциональной диагностики: формализации первичной информации, разработке информационно-логических структур баз данных и знаний, разработке алгоритмов актуализации информации, проблемно-ориентированному языку программирования, методам оценки качества работы лиц, принимающих решения, использующих АРМ функциональных исследований и результатам экспериментальной проверки.

**П. 3.1** посвящен вопросам формализации описания функциональных диагностических исследований. В этом разделе дается описание и форматы всех полей, обеспечивающих организацию процессов обследования.



**В п.3.2** описывается структура базы вопросов, поддерживающая работу с тремя типами данных: качественными, порядковыми и количественными признаками.

Структура базы вопросов представляет собой линейно-упорядоченную последовательность записей, каждая из которых описывает один вопрос. Описание включает в себя собственно вопрос (его текст) и дополнительные данные, определяющие особенности использования вопроса при вовлечении его в диалоги, ведущиеся между системой и пользователем.

Оптимизация структуры вопросников обеспечивается тем, что он имеет динамически ветвящуюся в процессе диалога структуру. Наряду с безусловно задающимися вопросами в него включаются вопросы, которые предлагаются пользователю только в случае определенных предшествующих ответов. В разделе рассмотрены описание и форматы всех полей, необходимых для реализации соответствующей базы данных.

Заключения, которые формируются подсистемой интеллектуальной поддержки, базируются на всестороннем анализе результатов функциональных исследований. Для реализации смысловой обработки данных разработан формализованный проблемно-ориентированный язык, позволяющий строить логические конструкции, аналогичные тем, которые использует врач при принятии решений. На его основе реализуется

- управление ветвлением вопросников (т.е. построение диалога с учетом уже полученных ответов);
- запись правил интерпретации первичной информации и формирование заключений по результатам методов исследования;
- запись абсолютных и относительных противопоказаний к назначению тех или иных методов исследования;

В таблице 1 показаны все варианты записей, использующихся для извлечения информации о полученных системой ответах на вопросы, с пояснением их смысла

**Таблица 1.** Примеры записей на проблемно-ориентированном языке, использующихся для анализа первичной информации.

№	Пример записи	При обработке записи возвращается...
1	(123,+)	...логический результат: «да» если на вопрос с идентификатором 123 на исследуемом промежутке времени был получен положительный ответ, «нет» в любом другом случае
2	(13,-)	...логический результат: «да» если на вопрос с идентификатором 13 был получен отрицательный ответ

3	(18, >7.6)	...логический результат: «да» если на вопрос с идентификатором 18 был получен ответ, значение которого больше чем 7.6 (при сравнении допускается использование также знаков <, >≠, <=, =)
4	(41, =)	...число, полученное в качестве ответа на вопрос с идентификатором 41**
5	(4014, ~улучшилось)	...логический результат: «да» если в текстовом ответе на вопрос с идентификатором 4014 содержится указанный фрагмент
6	(19, ?)	...логический результат: «да» если на вопрос с идентификатором 19 не было получено никакого ответа

В Табл. 1 первый и второй варианты записей ориентированы на анализ качественных признаков (ответов на вопросы с типом ответа «+ или -»). Варианты третий и четвертый применяются для анализа количественных признаков (ответов на вопросы, подразумевающие ответ в виде числа). Пятый – для исследования ответов на вопросы с типами ответов «текст». Шестой вариант можно использовать для любых типов ответа.

Средства предлагаемого языка, посредством логических операторов “и”, “или”, “не” и ряда других, позволяют строить алгоритмы формирования заключений практически любой сложности. В языковые средства включен, так называемый, оператор подсчета условий, позволяющий реализовывать часто встречающуюся в клиническом мышлении ситуацию, когда в пользу какого-либо диагноза говорят несколько признаков, хотя каждый из них не является решающим. Этот оператор соединяет несколько условий и возвращает результат «Да», если количество выполненных условий удовлетворяет содержащемуся в операторе условию сравнения с граничным значением счетчика, выраженного целым числом. При сравнении можно использовать знаки “=”, “<”, “>”, “>=” и “<=”.

Ниже приведен общий вид оператора подсчета.

(	выполнено		знак сравнения		граничное значение счетчика	)						
условий	из:		условие 1	;		условие 2	;	...	;		условие N	)

Средства языка используют пять операций сравнения, четыре арифметических действия и скобки в их традиционном применении.

Кроме этого язык имеет свой механизм ветвления вопросов и генератор специальных текстов.

**В п.3.3** рассматриваются вопросы автоматического формирования заключений по данным функциональных исследований. На примере принятия решений при выборе терапии бронхообструктивного синдрома, когда в роли локальных заключений выступают вопросы с типом ответа «первичный плюс».

**В п.3.4** даются рекомендации по разработке формализованных бланков вопросников в виде динамически ветвящихся структур.

**В п.3.5** описываются вопросы обмена информацией между АРМ функциональных исследований и произвольными компьютерно-ориентированными методиками обследования посредством специального файл-буфера.

**В п.3.6** рассматриваются вопросы оценки качества работы лиц, принимающих решение, использующих АРМ функциональных исследований. В основу работы систем оценки качества положено использование специально вводимых оценочных коэффициентов и системы штрафов, которые объединяются в интегральные показатели.

Обобщающую технико-экономическую характеристику проведения  $q$ -го функционального исследования, проводимого с помощью приборов типа  $s$ , будем определять формулой

$$A_{qs} = \alpha_1 \frac{K_{qs}^1}{K_{qH}^1} + \alpha_2 \frac{K_{qs}^2}{K_{qH}^2} + \alpha_3 \frac{K_{qs}^3}{K_{qH}^3} - \alpha_4 \frac{C_{qs}}{C_{qH}} - \alpha_5 \frac{T_{qs}}{T_{qH}} - \alpha_6 \frac{\tau_{qs}}{\tau_{qH}}, \quad (1)$$

где  $K_{qs}^1$  - показатель точности измерения параметров функционального исследования  $q$ -ым методом на аппаратуре типа  $s$ ;  $K_{qs}^2$  - субъективная уверенность в трактовке результатов  $q$ -го исследования на аппаратуре типа  $s$ ;  $K_{qs}^3$  - точность работы алгоритмов принятия решений по данным функционального исследования при наличии соответствующих систем поддержки принятия решений;  $K_{qH}^1 - K_{qH}^3$  - номинальные (средние, максимально возможные) значения соответствующих показателей, достижимые на известном уровне научно-технических возможностей;  $C_{qs}, T_{qs}, \tau_{qs}$  - стоимость, трудоемкость и время проведения  $q$ -го исследования на аппаратуре типа  $s$ ;  $C_{qH}, T_{qH}, \tau_{qH}$  - соответствующие номинальные значения;  $\alpha_1 \div \alpha_6$  - весовые коэффициенты, изменяющиеся в диапазоне  $[0,1]$ .

Для приведения  $A_{qs}$  к шкале с интервалом  $[0,1]$  удобно использовать функции принадлежности  $\mu_{\tau_s}(A_{qs})$  с носителем по шкале  $A_{qs}$  вида

$$\mu_{\tau_j}(A_{qj}) = \begin{cases} 0, & \text{при } A_{qj} \leq A_{qj}^n; \\ \frac{A_{qj} - A_{qj}^n}{A_{qj}^s - A_{qj}^n}, & \text{при } A_{qj}^n < A_{qj} < A_{qj}^s; \\ 1, & \text{при } A_{qj} \geq A_{qj}^s. \end{cases} \quad (2)$$

Уверенность в достижении заданной точности диагностики по диагнозу  $j$  при использовании  $q$ -го метода -  $K_{\tau_{qj}}$  - выражается через семейство функций принадлежности с носителями по номерам нозологий. Интеллектуальная сложность постановки диагноза  $j$  при использовании  $q$ -го метода исследования -  $S_{qj}$  определяется функцией принадлежности с носителем по шкале нозологий. Коэффициент консультационных потерь  $K_{1qj}^{\delta}$ , определяет степень необходимости обращения к данным  $q$ -ых функциональных исследований с целью повышения диагностической уверенности. Коэффициент консультационных потерь  $K_{2qj}^{\delta}$ , определяет степень компетентности врача, обращающегося за данными функциональных исследований. Два коэффициента временных потерь  $K_{qj}^3$  и  $K_{qj}^n$  на запрос и исполнение относительно эталонных времен. Ряд показателей, отражающих риск пациента от ошибочных и несвоевременных действий врачей и (или) сотрудников служб функциональных исследований -  $R_{qj}$ . Интегральный показатель качества диагностического процесса с привлечением средств функциональной диагностики определяется через аддитивный критерий вида:

$$IS_{qj} = \gamma_1 A_{qj}^n - \gamma_2 A_{qj}^s + \gamma_3 K_{\tau_{qj}} - \gamma_4 S_{qj} + \gamma_5 K_{1qj}^{\delta} - \gamma_6 K_{2qj}^{\delta} - \gamma_7 K_{qj}^n - \gamma_8 K_{qj}^3 - \gamma_9 R_{qj}, \quad (3)$$

где  $\gamma_1 \div \gamma_9$  - весовые коэффициенты, определяемые экспертами в диапазоне  $[0,1]$ . При организации соответствующего диагностического процесса необходимо обеспечивать максимизацию выражения (6). При многократном обращении к различным методам функциональных исследований  $q$ , при уточнении различных диагнозов  $j$ , получаем интегральную оценку качества вида:

$$PS = \sum_q \sum_j IS_{qj}. \quad (4)$$

Оценку качества деятельности пользователей данных функциональных исследований (врачей) будем определять через следующую систему штрафов:  $S_1^b$  - штраф за неэффективный выбор диагностических средств по технико-экономическим показателям,  $S_{2qj}^b$  - штраф за неназначение  $q$ -го

обследования или неверное назначение при наличии у пациента  $j$ -ой нозологии, тогда как стандартами это обследование предусмотрено,  $S_{3qj}^b$  - штраф за "лишние" обращения за данными функциональных исследований, тогда как для диагностики или исключения диагноза с номером  $j$  эти данные не нужны,  $S_{4qj}^b$  - штраф за нарушение последовательности проведения обследования, если для  $j$ -ой нозологии заранее известна некоторая эталонная последовательность  $K_{qj}^a$ ,  $S_{5qj}^b$  - штраф за опоздание в назначении  $q$ -го обследования по  $j$ -ой нозологии,  $S_{6qj}^b$  - штраф за опоздание в интерпретации результатов при вовремя пришедших результатах функциональных исследований,  $S_{7qj}^b$  - штраф за неверно заданные условия проведения обследования при правильно заданном методе.

В системе регистрируются и накапливаются данные по каждому из штрафов с передачей их в систему управления и рассчитывается интегральный штраф по формуле

$$SB = \sum_r \beta_r S_r^b,$$

где  $r$  - номер штрафа,  $\beta_r$  - весовые коэффициенты, определяемые специалистами методом экспертных оценок.

При "привязке"  $SB$  к шкале  $[0-1]$  рекомендуется интегральный штраф формировать как функцию принадлежностей с носителем по шкале  $SB$ . При этом возможен как линейный, так и нелинейный вариант нарастания интегрального штрафа, а, при единичном значении функции принадлежности, выдача администратору информации о тревожном состоянии дела с конкретным врачом.

Оценку качества деятельности сотрудников служб функциональных исследований будем определять через следующую систему штрафов:  $S_{1qj}^f$  - штраф за нарушение последовательности проведения лабораторного теста,  $S_{2qj}^f$  - штраф за опоздание в выдаче результатов исследований, при условии, что запрос пришел вовремя,  $S_{3qj}^f$  - штраф за нарушение условий проведения исследований, если они не заданы в запросе на обследование,  $S_{4qj}^f$  - штраф за неточность измерений,  $S_{5qj}^f$  - штраф за ошибку в интерпретации результатов по  $q$ -му анализу для  $j$ -ой нозологии.

В системе регистрируются и накапливаются данные по каждому из штрафов и рассчитывается интегральный штраф по формуле

$$SF = \sum_r \sum_q \sum_j \xi_{rqj} \cdot S_{rqj}^f \quad (5)$$

где  $\xi_{rqj}$  - весовые коэффициенты штрафов определяемые специалистами методом экспертных оценок в диапазоне  $[0, 1]$ .

**В п. 3.7** рассматриваются вопросы коррекции решающих правил по данным функциональных исследований с использованием алгоритма диагностического поиска. Алгоритм диагностического поиска состоит из трех основных блоков.

Блок выдвижения диагностических гипотез включает в себя правила, основанные на признаках предполагаемого спектра заболеваний, характеризующихся высокой чувствительностью. Его работа завершается принятием решения о выборе диагностических гипотез, для которых целесообразно дальнейшее продолжение диагностического поиска.

Блок подтверждения диагностических гипотез для каждой, выбранной предыдущим блоком, осуществляет анализ специфических признаков. Если при этом не найдено ни одного из тех, которые входят в точные правила, то гипотеза исключается. Если выявлены признаки, позволившие сработать хотя бы одному точному правилу, диагноз считается установленным. Если же найдены специфические признаки заболевания, но ни одно из точных правил не сработало, необходима верификация подтверждаемой гипотезы с помощью дифференциальной диагностики.

Блок дифференциальной диагностики реализует алгоритмы последовательного попарного сравнения двух диагностических гипотез, одна из которых передана в этот блок из предыдущего (подтверждаемая гипотеза). В результате сравнения подтверждаемая гипотеза может сохраниться и тогда, по завершении дифференциально-диагностического перебора, эта гипотеза превратится в диагноз, степень надежности которого определяется степенью надежности сработавшего правила. Если при дифференциальной диагностике найдены дополнительные специфические дифференциально-диагностические признаки для альтернативной гипотезы, подтверждаемая гипотеза отвергается и продолжается диагностический поиск в направлении альтернативной гипотезы.

Учитывая, что получаемые в ходе функциональных исследований данные должны повышать достоверность установления диагноза, получаемые результаты целесообразно снабжать некоторыми числовыми характеристиками, показывающими, насколько повысится уверенность в принятии решения, если будут произведены те или иные функциональные исследования. В медицинской практике для этой цели для всех типов диагностических признаков, в том числе и функциональных, используются понятия информативности и диагностической ценности. Обычно диагностическая ценность (информативность) выражается в виде баллов, которые рассчитываются одним из следующих методов: методом экспертной оценки, на основе различных модификаций метода Байеса, по оценке меры расхождения Кульбака, по коэффициентам дискриминантного уравнения.

В разрабатываемом варианте АРМ пользователей использует все эти способы оценки информативности диагностических признаков и, кроме того,

реализует дополнительный алгоритм, в котором подсчитывается общая сумма диагностических баллов по заболеванию или ряду заболеваний -  $Q_j^*$  без данных функциональных исследований и сравнивает их с порогами  $P_j$  или интервалами  $[P_j^1, P_j^2]$

Если диагноз получается уверенным, подтверждающая информация функциональных исследований не требуется.

Если уверенность в постановке диагноза недостаточная, то из списка рекомендуемых анализов по  $j$ -ой нозологии выбираются те, которые дают баллы  $Q_j^f$ , позволяющие потенциально повысить уверенность в диагнозе. То есть те, которые при наличии соответствующих результатов дадут возможность выйти из зоны неопределенности:  $Q_j^* + Q_j^f > P_j$  или  $P_j^1 < Q_j^* + Q_j^f < P_j^2$ . В этом варианте пользователю интересно будет знать, каков может быть вклад  $q$ -го функционального исследования в снятие диагностической неопределенности. Этот вклад в процентах может быть рассчитан по формуле

$$L_j = \frac{Q_j^* + Q_{jq}^f}{P_j + \Delta_j} \cdot 100\%, \quad (6)$$

где  $Q_j^*$  - количество баллов набранная без функциональных анализов,  $Q_{jq}^f$  - баллы, набираемые в результате функциональных исследований с номером  $q$ ,  $P_j$  - величина порога до которого "не достаёт" уверенности в диагнозе  $j$ ,  $\Delta_j$  - запас уверенности, добавляемый к порогу, чтобы при  $P = Q_j^*$  уверенность в диагнозе не была равна 100% , поскольку речь идет о граничном значении.

При использовании нечетких рассуждений в работе используется коэффициент уверенности, определяемый как разность между двумя мерами

$$КУ(Y|X) = МД(Y|X) - МНД(Y|X),$$

где  $КУ(Y|X)$  – уверенность в диагностической гипотезе  $Y$  с учетом наличия свидетельств (признака (ов))  $X$ ,  $МД(Y|X)$  – мера доверия к  $Y$  с учетом признаков  $X$ ,  $МНД(Y|X)$  – мера недоверия к гипотезе  $Y$  с учетом признаков  $X$ .

Для уточнения  $МД$  и  $МНД$ , которое требуется осуществить при поступлении новой информации (новое свидетельство  $x$ ), предлагается формула

$$МД(Y|X, x) = МД(Y|X) + МД(Y|x)(1 - МД(Y|X)), \quad (7)$$

где запятая между  $X$  и  $x$  означает, что  $x$  следует за  $X$ . Аналогичная формула имеет место для  $МНД$ .

Применительно к работе служб функциональных исследований пользователя интересует вопрос о том, какие исследования нужно

произвести, чтобы уверенность в постановке диагноза или уверенность в отрицании диагноза стала выше пороговой. То есть, необходимо, чтобы

$$\text{МД}(Y, x) = \frac{\text{МД}(Y | X, x) - \text{МД}(Y | X)}{1 - \text{МД}(Y | X)} \geq \text{МД}_{\text{п}}, \quad (8)$$

Если существует несколько методов функциональных исследований, обеспечивающих выполнение неравенства (8), то выбор следует осуществлять, учитывая реальные затраты и риск пациента от ошибок в диагнозе.

Если обозначить через  $C_q$  – экономические затраты на проведение q-го исследования,  $t_q$  – время проведения q-го исследования,  $z_{qj}$  – показатель срочности q-го исследования для j-ой нозологии (если это критично),  $R_q$  – риск пациента от возможной ошибки в диагнозе, тогда следует из списка методов исследований выбирать тот, который обеспечивает выполнение неравенства (8) и дает минимальное значение критерия

$$K_p = \xi_1 C_q + \xi_2 t_q + \xi_3 z_{qj} + \xi_4 R_q, \quad (9)$$

где  $\xi_1 \div \xi_4$  – весовые коэффициенты каждого из показателей.

Объединив неравенство (8) и выражение (9) в один критерий вида

$$K'_p = \begin{cases} 0, & \text{если } \text{МД}(Y, x) < \text{МД}_{\text{п}} \\ \text{МД}(Y, x) - K_p, & \text{если } \text{МД}(Y, x) \geq \text{МД}_{\text{п}} \end{cases} \quad (10)$$

можно решать задачу выбора методов обследования по максимуму  $K'_p$ .

В работе рассматриваются также вопросы расчета уверенности принятия решений, если в качестве основных решающих правил используются балльные оценки или линейные дискриминантные функции.

**В п.3.8** обсуждаются результаты исследования разработанных методов, алгоритмов и программ по влиянию данных функциональных исследований на прогноз возникновения сосудистых болезней мозга.

Для первой задачи формирования группы риска проявления сосудистых болезней мозга на фоне развития атеросклероза, артериальной гипертензии и сосудистых дистоний была использована система признаков, описанная в работе Трошкина В.Д. (1981). Прогноз осуществлялся по системе баллов по следующему алгоритму: если сумма баллов ( $B = \sum_{i=1}^{25} b_i$ ) больше 263 (класс  $\omega_3$ ), то такие больные нуждаются в лечебно-профилактических мероприятиях. Если выполняется условие  $229 \leq B \leq 263$  (класс  $\omega_2$ ) – диагноз не определен. При  $B < 229$  (класс  $\omega_1$ ) – испытуемый практически здоров.

Для проверки этого правила и уменьшения зоны неопределенности за счет перехода к нечеткой логике в этой зоне нами были исследованы 60



человек всех трех классов и получены соответствующие функции принадлежности с носителем по шкале В. При использовании метода наименьших квадратов было показано, что экспериментальные данные и мнения экспертов хорошо аппроксимируются (с СКО < 0,15) выражениями вида

$$\mu_{\omega_3}(B) = \begin{cases} 0, & \text{если } B < 229 \quad ; \\ 2(B - 229)^2 / 1156, & \text{если } 229 \leq B < 246 \quad ; \\ 1 - 2(B - 263)^2 / 1156, & \text{если } 246 \leq B < 263 \quad ; \\ 1, & \text{если } B \geq 263 \quad , \end{cases}$$

$$\mu_{\omega_1}(B) = \begin{cases} 1, & \text{если } B < 229 \quad ; \\ 1 - 2(B - 229)^2 / 1156, & \text{если } 229 \leq B < 246 \quad ; \\ 2(B - 263)^2 / 1156, & \text{если } 246 \leq B < 263 \quad ; \\ 0, & \text{если } B \geq 263 \quad . \end{cases}$$

Зона неопределенности здесь практически исчезает, поскольку в ней теперь перераспределяются уверенности в принятии решений, численно равные соответствующим значениям функции принадлежности. Этот вывод хорошо согласуется с мнением высококвалифицированного экспертного консилиума.

Признаки  $X_{20}, X_{21}, X_{22}$  получают по данным функциональных исследований, в частности по данным рэоцефалограммы (РЭГ).

В совокупности, данные функциональных исследований могут дать от 20 до 80 баллов, а это означает, что без этих данных уверенность в принятии решений по классу  $\omega_1$  - здоров может быть принято только при  $B < 149$  баллов, поскольку каждый из признаков РЭГ может дать максимум и есть риск пропустить испытуемого с высокой степенью риска. Если  $B > 149$ , принимается решение о проведении функциональных исследований с целью исключения или подтверждения диагноза  $\omega_3$  в соответствии с формулой расчета  $\mu_{\omega_3}(B)$ .

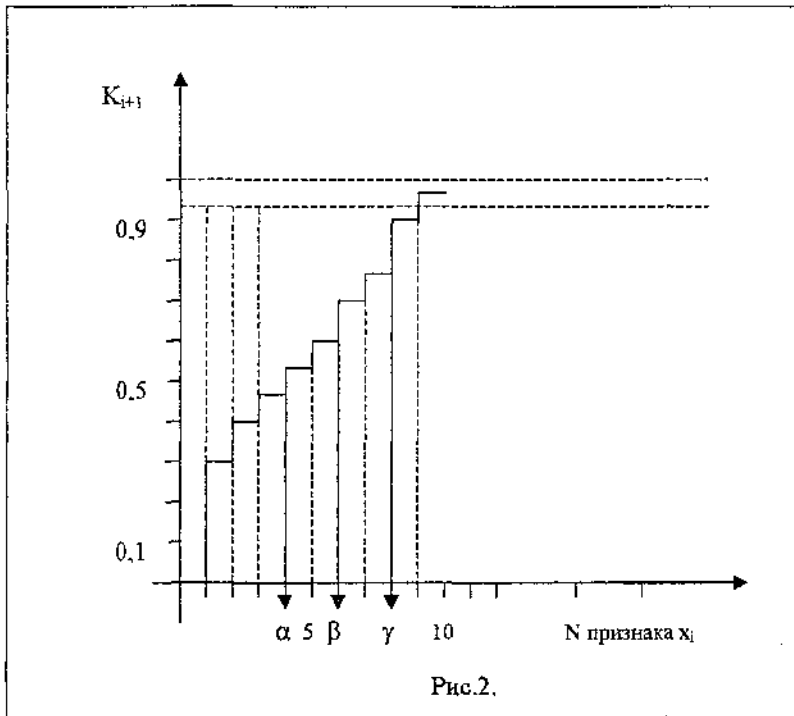
По задаче прогнозирования возникновения мозговых инсультов у больных артериальной гипертонией в основу была положена система признаков, предложенная Т.А.Фоминой (1982). В основу диагностики при традиционном подходе был положен вариант алгоритма Байеса, с помощью которого были рассчитаны величины прогностических баллов для двадцати пяти признаков  $X_1 \div X_{25}$ .

Диагноз определяется суммированием баллов по выявленным у больных признакам. При сумме баллов < 9 считается, что риск заболевания не велик, при  $9 \leq B \leq 10$  прогноз не определен, при  $B \geq 11$  считается, что в

ближайшие годы высока вероятность инсульта. При этом рекомендуется заниматься профилактикой заболеваний.

Обсуждение работы этого правила с врачами экспертами показало, что зона неопределенности и понятие "высокая" вероятность весьма приближенно отражает логику принятия решения высококвалифицированными специалистами. Поэтому было принято решение о переходе к системе расчета меры доверия к диагнозу (прогнозу) по мере получения информации о состоянии здоровья человека в соответствии с формулой (7). Эта формула позволяет оценить и тот вклад в общую уверенность в принятии решения, который вносят результаты функциональных исследований.

На рисунке 2 показан рост уверенности в принятии решений по мере набора признаков с максимальными значениями меры доверия.



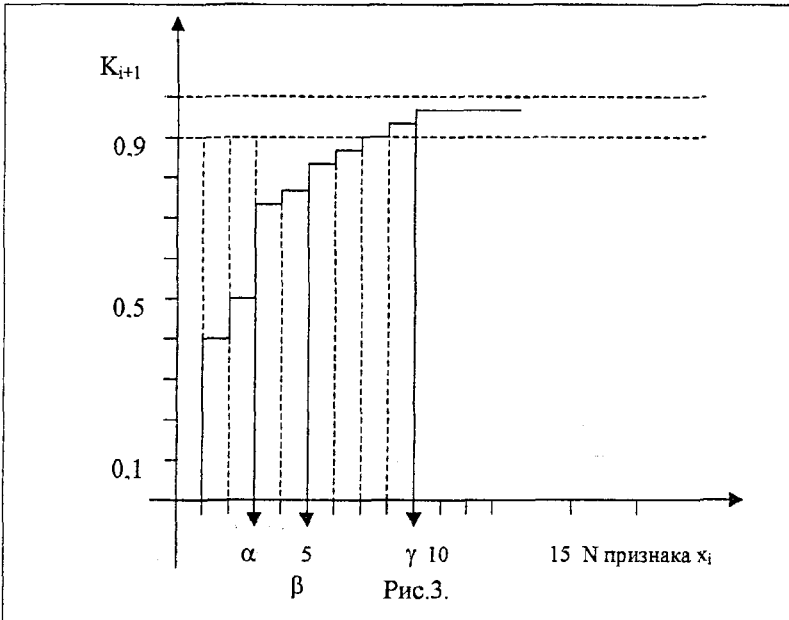
Величина  $\alpha$  соответствует нижней границе начала принятия решений при бальных оценках (начало зоны неопределенности  $K_{i+1} = 0,584$ ),  $\beta$  - конец зоны неопределенности при бальной оценке ( $K_{i+1} = 0,785$ ),  $\gamma$  - уверенность

при использовании признаков функциональных исследований ( $K_{i+1} = 0,888$ ). То есть, получение данных функциональных исследований увеличивает уверенность в принятии решений с 0,785 до 0,888, а получение еще двух признаков позволяет говорить об уверенности на уровне 0,94.

Аналогично решалась задача прогнозирования мозговых инсультов у больных, не страдающих артериальной гипертензией.

В классическом варианте высокая вероятность инсульта считается при  $B \geq 9$ , зона неопределенности  $7 \geq B \geq 8$ .

В разрабатываемом варианте зона неопределенности отсутствует. График роста уверенности при наборе признаков с максимальными баллами представлен на рисунке 3.



Зона уверенной диагностики (согласно работе Т.А.Фоминой) начинается от отметки  $\alpha$ , но по нашим данным уверенность в правильном принятии решения о возможности развития инсульта находится на уровне 0,73. Наличие признаков функциональных исследований повышает эту уверенность до уровня 0,84. На девятом признаке  $X_9$  уверенность в принятии решения о "силе" прогноза достигает 0,95, при условии, что все предыдущие признаки присутствовали и принимали максимальные значения.

## Основные результаты работы

Предлагаемая работа посвящена решению ряда научных и практических проблем, связанных с разработкой автоматизированных медико-технологических систем для служб функциональных исследований лечебно-профилактических учреждений, работающих в интегрированных автоматизированных информационных медицинских системах. В процессе выполнения работы были решены следующие задачи:

1. Определены свойства, состав, структура и диапазон функций АРМ функциональных исследований и построена обобщенная схема создания и совершенствования разрабатываемых АРМ, отличающаяся полнотой охвата всех функций, осуществляемых соответствующими медицинскими службами, что позволяет синтезировать АРМ функциональных исследований любой сложности под требования конкретных лечебно-профилактических учреждений.
2. Разработана информационно-логическая модель для построения АРМ функциональных исследований и технология работы персонала как проектирующего, так и использующего эти АРМы с соответствующей системой дружеских интерфейсов, которая позволяет: врачам-пользователям оперативно формировать запросы на функциональные исследования для различных типов анализов; со стороны служб функциональных исследований на языке пользователей оперативно оформлять все виды анализов и готовить их для передачи лечащим врачам и врачам-специалистам; синтезировать новые и корректировать уже эксплуатирующиеся АРМ функциональных исследований с помощью унифицированной системы операторов не требующих специальных знаний в области программирования, что делает удобным работу по созданию и коррекции автоматизированных рабочих мест специалистами-медиками.
3. Предложены способы представления медицинских данных и знаний, необходимых для построения АРМ функциональных исследований и позволяющих проводить их автоматический анализ, отличающиеся тем, что дают возможность синтезировать однотипные решающие правила логического типа для всех видов функциональных исследований, что, в свою очередь обеспечивает возможность проектирования эффективно работающих систем поддержки принятия решений для служб функциональных исследований всех типов и назначений.
4. Разработан метод оценки качества работы лиц принимающих решение использующих АРМы функциональных исследований, которые позволяют повысить эффективность управления

соответствующих лечебно-профилактических учреждений, что особенно актуально при переходе на страховую медицину.

5. Разработаны алгоритмы коррекции диагностических решающих правил по данным функциональных исследований, которые позволяют по формальным признакам рационализировать выбор методов функциональных исследований по заданным типам нозологий, и обеспечить, при необходимости, нечеткий вывод диагностических заключений, что приближает разработанную систему к врачебной логике принятия решений.

Разработанные методы, информационно-алгоритмическое и программное обеспечение прошли экспериментальную проверку и успешно эксплуатируются в 79-й городской клинической больнице г. Москвы. Эксплуатация показала их высокую эффективность давая в руки пользователя новый информационно-технологический аппарат, позволяющий повысить уровень медицинского обслуживания населения.

## Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах

1. Жилин В.В. Автоматизированная медико-технологическая система служб функциональных исследований для типовых лечебно-профилактических учреждений/ Биотехнические медицинские и экологические системы и комплексы. Рязань, 1996. С.48-49.
2. Кореневский Н.А., Жилин В.В. Организация информатизационного обеспечения систем поддержки принятия решений в сложных сверхсистемах/ Космонавтика, радиоэлектроника, информатика. Тезисы докладов 2-ой международной научно-технической конференции. Рязань, 1998. С.101-102.
3. Жилин В.В., Бочков В.Б., Самохвалов М.Н. Прогнозирование возникновения мозговых инсультов с использованием элементов нечеткой логики/ Материалы и упрочняющие технологии – 98: Материалы докладов VI Российской научно-технической конференции. Курск, 1998. С.163-172.
4. Кореневский Н.А., Жилин В.В., Тутов Н.Д. Организация контроля за действиями служб функциональных исследований/ Материалы и упрочняющие технологии – 98: Материалы докладов VI Российской научно-технической конференции. Курск, 1998. С.182-190.
5. Устинов А.Г., Жилин В.В., Савенков С.Н. Информационно-логическая модель построения АРМ функциональных исследований/ Материалы и упрочняющие технологии: Материалы докладов Российской научно-технической конференции. Курск, 1997. С.160-162.



Подписано к печати \_\_\_\_\_ Формат 60x84 1/16

Печ.л. \_\_\_\_\_. Тираж 100 экз. Заказ \_\_\_\_\_

Курский государственный технический университет  
Курск 305040, ул. 50 лет Октября, 94.