

На правах рукописи



ЧЕРЕПНИН Алексей Анатольевич

**МОДЕЛИ, АЛГОРИТМЫ И СРЕДСТВА ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ
ПРИНЯТИЯ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ
ПРИ ЭНДОСКОПИЧЕСКОМ ОБСЛЕДОВАНИИ
НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ**

Специальность 05.11.17 – Приборы, системы и изделия медицинского
назначения

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Рязань 2010

Работа выполнена в государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Рязанский государственный радиотехнический университет» на кафедре биомедицинской и полупроводниковой электроники.

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Локтюхин Виктор Николаевич

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Истомина Татьяна Викторовна

кандидат технических наук
Голь Stanisлав Артурович

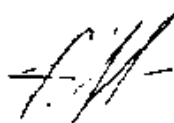
Ведущая организация: ГОУ ВПО «Тамбовский
государственный технический
университет» (г. Тамбов)

Защита состоится «24» июня 2010 г. в 11 часов на заседании диссертационного совета Д 212.211.04 в ГОУ ВПО «Рязанский государственный радиотехнический университет» по адресу: 390005, г. Рязань, ул. Гагарина, д. 59/1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ГОУ ВПО «Рязанский государственный радиотехнический университет».

Автореферат разослан «19» мая 2010 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета
канд.техн.наук, доцент



А.Г. Борисов

ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. С принятием Национального проекта «Здоровье» и необходимостью восстановления отечественного медицинского приборостроения обострилась потребность в создании современного медицинского диагностического оборудования, которое для врача является необходимым измерительно-информационным (-вычислительным) инструментарием получения информации о заболевании обследуемого пациента с целью поддержки постановки диагноза. Одна из распространенных областей его применения – диагностика заболеваний желудочно-кишечного тракта (ЖКТ).

Используемые в этой сфере стандартные видеоэндоскопические системы (ВЭС) предоставляют врачу-эндоскописту только первичную информацию в виде фрагментов изображения внутренней поверхности исследуемого органа, служащих основой постановки диагностического заключения. Одним из направлений повышения эффективности диагностического обследования является включение в состав инструментальных средств видеоэндоскопии отдельной компьютерной системы поддержки принятия решений, позволяющей реализовать часть операций из серий психологических преобразований, выполняемых врачом. К ним относятся: выявление диагностических признаков заболеваний по эндоскопическому изображению и истории болезни, учет данных предыдущих обследований, формирование выводов по совокупности найденных патологий и признаков заболеваний в виде диагноза и др. Автоматизация выполнения этих операций позволит существенно снизить влияние на качество диагностических заключений таких человеческих (субъективных) факторов, как уменьшение объема внимания, его интенсивности, устойчивости и др., так как ряд операций по поддержке диагностических заключений будет передан машине.

Наряду с этим известно, что для повышения достоверности диагностического заключения необходимо совместно с визуально выявленными признаками также учитывать влияние большого числа патогенетических факторов. Менее опытный врач может упустить некоторые важные детали из этого множества, что приведет к постановке ошибочного диагноза. При этом даже наилучшие дорогостоящие видеоэндоскопические системы не позволяют объективно учитывать данные истории болезни пациента, а также влияние патогенетических факторов на развитие заболевания. Таким образом, отсутствие в этих системах функциональных подсистем по учету таких данных и факторов при формировании заключения совместно с признаками, выявленными из изображений, а также подсистем по поддержке принятия диагностических решений (СППР) является их существенным недостатком.

Актуальность диссертационного исследования в этой связи обусловлена необходимостью снижения вероятности ошибки постановки диагноза на основе решения задач разработки и анализа моделей, алгоритмов и средств, используемых для компьютерной поддержки установления диагноза органо-функциональных заболеваний ЖКТ. Исходя из этого, предлагается, используя опыт и знания в различных смежных с медициной научных областях, существенно расширить функциональные (интеллектуальные) возможности стандартных ВЭС на основе создания проблемно-ориентированного математического, алгоритмического обеспечения (в виде специальных моделей и алгоритмов) и ком-

плекса программ для поддержки с использованием персонального компьютера (ПК) формирования врачом правильных диагностических заключений.

Одним из перспективных подходов к разработке этого обеспечения является применение нейробионической методологии (парадигмы) как основы создания функциональных моделей технических и биотехнических систем с использованием моделей сенсорных систем и центральной нервной системы человека и животных. Для данной работы это: 1) модели формирования информативных признаков заболеваний, когда, аналогично функционированию ощущающей системы, необходимо отделить значимые параметры от незначимых и случайных внешних воздействий и представить в виде, удобном для дальнейшей обработки; 2) нейронечеткий аппарат поддержки принятия решений, реализующий данную операцию по принципу качественных оценок ситуации в совокупности с количественными и сравнений с эталонными порогами, на настоящий момент еще в недостаточной степени распространенный в медицинских измерительно-информационных системах.

Вопросам построения систем поддержки принятия решений и применения технологии нечеткой логики для решения прикладных задач посвящены работы Заде Л.А., Мак-Каллока У., Галушкина А.И., Круглова В.В., Осовского С., Трахтенгерца Э.А., Корневского Н.А., Пылькина А.Н., Демидовой Л.А., Истоминой Т.В., Фелиста С.А., Устинова В.Г. и др.

Работа выполнена в соответствии с тематикой проектов (грантов) «Теория и проектирование преобразователей формы информации на основе нейросетевых технологий» ведомственной целевой программы «Развитие научного потенциала ВШ» (№ 6390 от 12.12. 2008 г.) и Российского фонда фундаментальных исследований «Теория и проектирование медицинских измерительно-информационных систем на основе нейробионических технологий» (№ 10-08-97525-р_центр-а, 01. 2010 г.).

Целью диссертационной работы является снижение влияния субъективных факторов на достоверность диагностического решения в эндоскопическом обследовании на основе разработки моделей, алгоритмов и средств для его поддержки с использованием технологии нечеткой логики (на примере заболеваний желудочно-кишечного тракта).

Задачи диссертации. Для достижения этой цели необходимо решить следующие основные задачи:

1. Исследование существующих методик и аппаратно-программных средств базовой аппаратуры, применяемых в ходе обследования (в том числе эндоскопического) пациента с заболеваниями пищеварительной системы, с целью построения модели процесса видеоэндоскопической диагностики и выявления новых функций, реализация которых позволит повысить достоверность диагностических заключений при ограничениях на время эндоскопического обследования.

2. Разработка структурно-функциональной организации биотехнического комплекса для углубленной видеоэндоскопической диагностики, обеспечивающего поддержку формирования врачом правильного диагностического заключения.

3. Разработка моделей, алгоритмов и средств поддержки формирования диагностических заключений в видеоэндоскопии на основе технологии нечеткой логики с учетом патогенетических и симптоматических факторов, связанных с выявляемым заболеванием пациента.

4. Аппаратно-программная реализация предложенных алгоритмов, моделей и методов для углубленного видеозендоскопического обследования, их экспериментальная проверка и внедрение.

Методы исследования. Основные результаты диссертационного исследования получены и обоснованы с помощью методов системного и статистического анализа, теории графов, анализа алгоритмов, теории нечеткого логического вывода, а также моделирования в среде технических вычислений MATLAB.

Научная новизна. В диссертации получены следующие результаты, характеризующиеся научной новизной:

1. Предложены модели оценки качества системы поддержки видеозендоскопической диагностики заболеваний желудочно-кишечного тракта (ЖКТ) пациента и выявлена совокупность дополнительных функциональных возможностей разрабатываемой системы с использованием диаграмм причин-результатов и временных графов как основы исключения субъективных факторов недостоверности и сокращения (в 1,5 раза) длительности этапов формирования диагностического решения.

2. Предложены конфигурации (варианты структур) биотехнического комплекса и укрупненная процедура для углубленной диагностики заболеваний ЖКТ, поддерживающие в ходе обследования формирование для врача рекомендаций по постановке диагноза на основе целенаправленного выявления возможных классов и дополнительных визуальных признаков заболевания, что обеспечивает повышение достоверности их определения на 30 %.

3. Адаптированы модели и алгоритмы обработки эндоскопических видеоизображений и данных истории болезни, обеспечивающие получение диагностически значимых признаков для более достоверного выявления заболеваний пищеварительной системы.

4. Разработана процедура нечеткого логического вывода для поддержки принятия диагностических решений на основе компьютерной обработки количественных и качественных результатов обследований, а также симптоматических и патогенетических факторов заболевания ЖКТ пациента, что позволяет снизить вероятность появления ошибки при постановке диагноза, в частности язвы желудка, примерно в 3 раза.

5. Предложены алгоритм настройки разработанной системы и алгоритм обследования пациента гастроэнтерологического отделения с детальным описанием по использованию врачом разработанного программно-алгоритмического обеспечения системы (на примере язвенной болезни желудка и двенадцатиперстной кишки) как основы построения эффективных методик выявления заболеваний ЖКТ.

Практическая значимость и результаты внедрения. Разработанные в диссертационной работе модели, алгоритмы и комплексы программ СППР позволяют повысить достоверность выявления признаков патологий заболеваний желудочно-кишечного тракта (на примере выбранного класса заболеваний: язвенной болезни желудка и двенадцатиперстной кишки) обследуемого пациента.

Предложенные методы и модели анализа данных о болезнях пищеварительной системы пациентов (анамнез, данные анализов, видеоизображения и др.), а также модели оценки качества диагностических алгоритмов и определения степени важности факторов (симптоматических и патогенетических) использованы в Рязанской областной клинической больнице. Результаты разработки СППР вне-

дрены в учебный процесс кафедры биомедицинской и полупроводниковой электроники Рязанского государственного радиотехнического университета и кафедры пропедевтики внутренних болезней Рязанского государственного медицинского университета им. академика И.П. Павлова.

На защиту выносятся:

1. Модели оценки качества системы поддержки видеозендоскопической диагностики заболеваний желудочно-кишечного тракта (ЖКТ) пациента и совокупность дополнительных функциональных возможностей разрабатываемой системы с использованием диаграмм причин-результатов и временных графов как основы исключения субъективных факторов недостоверности и сокращения (в 1,5 раза) длительности этапов формирования диагностического решения.

2. Конфигурации биотехнического комплекса и укрупненная процедура для углубленной диагностики заболеваний желудочно-кишечного тракта, поддерживающие в ходе обследования формирование для врача рекомендаций по постановке диагноза на основе целенаправленного выявления возможных классов и дополнительных визуальных признаков заболевания, что обеспечивает повышение достоверности их определения на 30 %.

3. Процедура нечеткого логического вывода для поддержки принятия диагностических решений на основе компьютерной обработки количественных и качественных результатов обследований, а также симптоматических и патогенетических факторов заболеваний ЖКТ пациента, что позволяет снизить вероятность появления ошибки при постановке диагноза, в частности язвы желудка, примерно в 3 раза.

4. Алгоритм настройки разработанной СППР и алгоритм обследования пациента гастроэнтерологического отделения с детальным описанием по использованию врачом разработанного программного обеспечения системы как основы построения эффективных методик выявления заболеваний ЖКТ.

Апробация результатов работы.

Основные положения диссертации докладывались на 5 международных и 8 всероссийских конференциях, в том числе на 5-м и 6-м международных симпозиумах «Электроника в медицине. Мониторинг, диагностика, терапия» (Санкт-Петербург, 2006 и 2008 гг.); 8-м международном симпозиуме «Интеллектуальные системы – 2008» (Нижний Новгород, 2008 г.); Международной конференции с элементами научной школы для молодежи «Биотехнические, медицинские и экологические системы и комплексы» (Рязань, 2009 г.). По итогам конференций результаты работы отмечены 8 дипломами за лучший доклад.

Публикации. Основные результаты диссертационного исследования нашли отражение в опубликованных диссертантом 25 печатных работах, из которых 4 в рецензируемых журналах из списка ВАК.

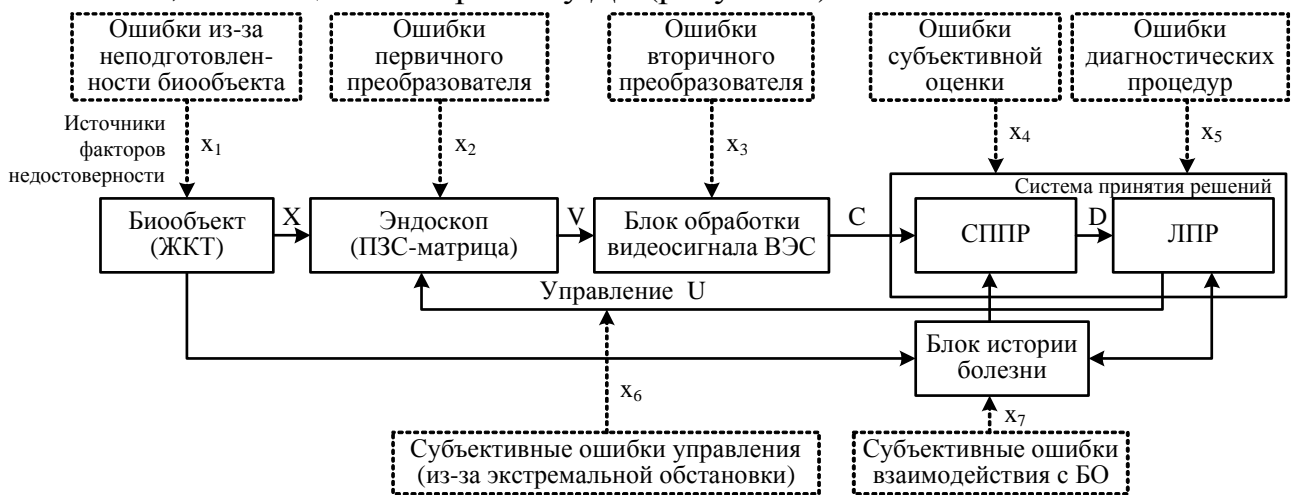
Структура работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, приложения и списка использованной литературы, включающего 130 наименований. Общий объем работы составляет 169 страниц, включая 89 таблиц и рисунков.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы; сформулирована ее цель; кратко изложены основные задачи, которые необходи-

мо решить для ее достижения, полученные результаты, включающие научную новизну и практическую значимость; рассмотрены используемые методы исследования; описаны итоги применения результатов работы; приведены основные научные положения, выносимые на защиту.

В первой главе «Исследование методик, алгоритмов и средств, применяемых при эндоскопическом обследовании» отмечается, что первоочередной задачей при разработке биотехнического комплекса (БТК) является выявление факторов, влияющих на недостоверность диагностического решения (ДР), с последующим снижением их числа и силы влияния за счет применения специальных алгоритмов формирования ДР. С этой целью предлагается представить БТК в виде последовательного соединения его основных подсистем с изображением источников ошибок, влияющих на выработку ДР (рисунок 1).



ЖКТ – желудочно-кишечный тракт, СППР – система поддержки принятия решений, ВЭС - видеоэндоскопическая система, БО – биообъект, ЛПР – лицо, принимающее решение (врач), X – изображение в виде светового потока, V – аналоговый видеосигнал, C – цифровой видеосигнал, D – рекомендуемый диагноз, U – управляющие воздействия

Рисунок 1 – Структура ошибок при видеоэндоскопическом обследовании

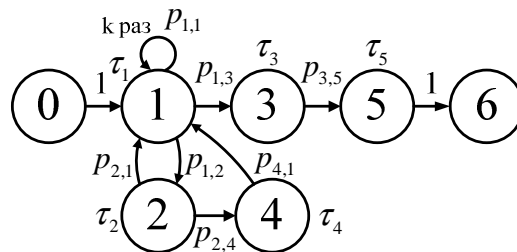
Далее на основе анализа этих причин построена диаграмма причин и результатов. В качестве факторов-причин, влияющих на снижение достоверности ДР, выделены две группы: 1 – факторы, определяемые методическими и инструментальными ошибками технических средств БТК; 2 – субъективные факторы, определяемые наличием в его составе субъектов (пациента и врача). На основе выявленных факторов сформулированы новые функциональные задачи ФЗ₈– ФЗ₁₃, решаемые БТК с целью повышения достоверности диагностического заключения. При этом качество диагностического решения целесообразно оценивать с помощью принципа минимума эвристик, в соответствии с которым выбирается решение, характеризующее минимальной остаточной неопределенностью $H_{ост}$ принятия решения. Тогда задача разработки СППР для ВЭД формулируется следующим образом. Необходимо разработать программно-алгоритмическое и аппаратное обеспечение СППР для формирования врачом диагностического заключения с минимальной остаточной неопределенностью решения $H_{ост} \rightarrow \min$ в условиях ограничения на время обследования $T_{обс} \leq T_{треб}$ за счет замены эвристик на процедуры нечеткого логического вывода на основе компьютерной обработки результатов обследований, а также симптоматических и патогенетических факторов заболеваний.

С целью снижения $H_{ост}$ показана необходимость проведения исследования многообразия эвристических процедур по выявлению признаков (симптомов) заболевания, а также установления диагностической значимости отдельных операций. Оценка диагностической значимости проведена на основе следующей формулы:

$$ИДЗ_i = \frac{PB_{\max} - PB_i + 1}{PB_{\max}} \cdot \frac{n_i}{N} \cdot 100\% ,$$

где i – номер метода диагностического минимума, $i \in \overline{1, M}$, PB_i – ранг важности i -го метода (номер строки в списке методов, отсортированных по убыванию их важности), PB_{\max} – максимальный ранг важности, n_i – количество диагностических параметров, получаемых i -м методом, M – общее количество методов диагностического минимума, N – общее количество получаемых в диагностическом минимуме параметров: $N = \sum_{i=1}^M n_i$. В результате выявлено, что наибольшим индексом диагностической значимости обладают методы обследования: гастроскопия с биопсией, расспрос и осмотр, общий и биохимический анализы крови.

Для учета ограничений на время обследования $T_{обс}$ в данной главе исследуется процесс обследования пациента с заболеваниями пищеварительной системы на предмет продолжительности отдельных этапов обследования. На рисунке 2 приведен временной граф, описывающий процедуру видеозендоскопической диагностики как одного из наиболее продолжительных диагностических методов в общем обследовании пациента гастроэнтерологического отделения.



$p_{i,j}$ – вероятность перехода из i -й вершины в j -ю; τ_i – длительность этапа диагностики; 1 – непрерывный поиск признаков патологии по изображению; 2 – описание найденной патологии; 3 – интерпретация наблюдений и оформление протокола; 4 – проведение биопсии; 5 – фиксация результатов обследования врачом-клиницистом

Рисунок 2 – Временной граф детализированной процедуры видеозендоскопического обследования

Время $T_{ПР}$, затрачиваемое на одну реализацию процедуры, определяется

суммой длительностей τ_i : $T_{ПРср} = \sum_{i=1}^l q_i \tau_{срi}$, где q_i – вероятность, а $\tau_{срi}$ – средняя

длительность выполнения i -го оператора (номер $l+1$ должен соответствовать конечной вершине графа). При этом $q_i = \sum_{(i,j) \in D} p_{i,j} q_j$, ($i = 1, 2, \dots, l$). Здесь произведе-

ние $p_{i,j} q_j$ определяет вероятность перехода из 0-й в i -ю вершину через вершину j . На основе сформированного таким образом графа длительность процесса диагностики в вершине 1 составляет 52 % времени прохождения графа. Таким образом, поддержка реализации дополнительных функциональных возможностей в вершине 1 позволяет значительно сократить время обследования и уменьшить вероятность постановки ошибочного диагноза.

Во второй главе «Структурно-функциональная организация БТК для углубленной ВЭД. Алгоритмы и модели получения исходных информативных при-

знаков заболеваний» рассматриваются методы, модели и средства, необходимые для реализации углубленной видеоэндоскопической диагностики. Разработаны 3 варианта конфигурации проблемно-ориентированного биотехнического комплекса с расширенными функциональными возможностями, отличающиеся составом и назначением: 1) БТК врача-эндоскописта (рисунок 3), 2) БТК врача-клинициста (или врача-исследователя) для последующей углубленной диагностики и 3) полностью автономный исследовательский вариант БТК.

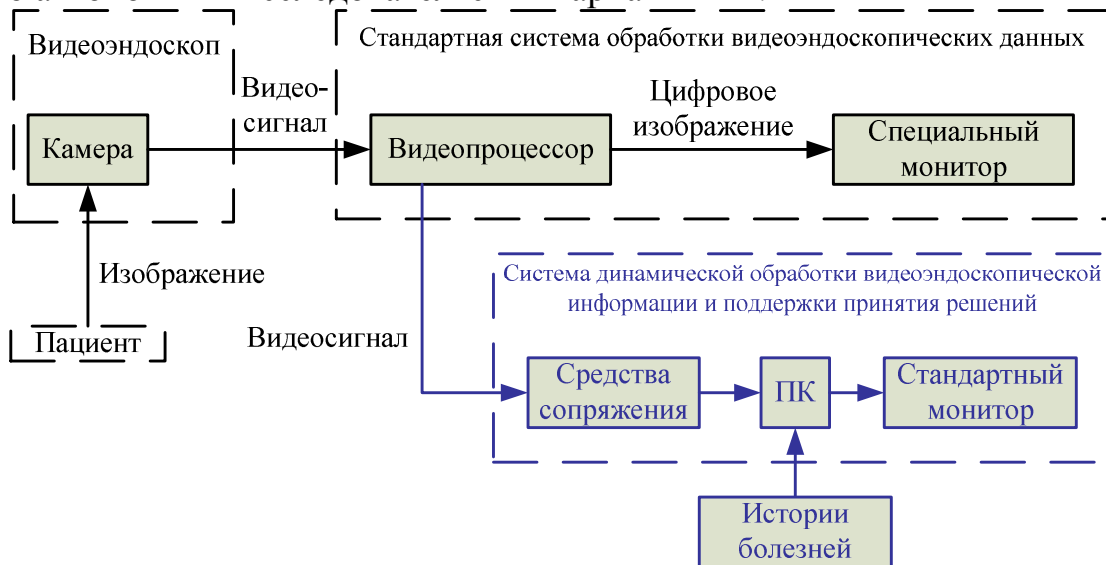


Рисунок 3 – Структура БТК врача-эндоскописта

Функциональные возможности комплекса углубленной видеоэндоскопической диагностикой изображены на рисунке 4. Отличия данной системы в виде перечня функциональных задач ФЗ₈–ФЗ₁₃ от стандартной ВЭС выделены цветом.

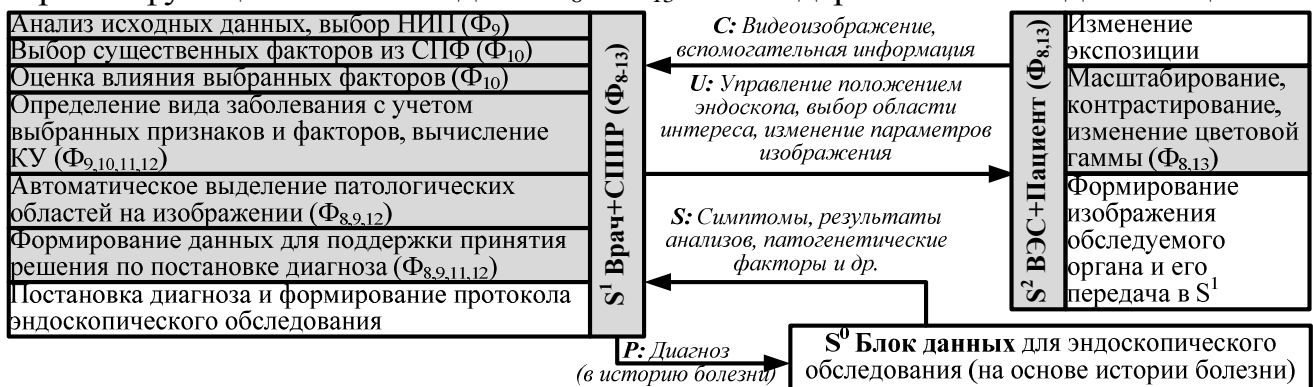


Рисунок 4 – Функциональная модель БТК углубленной видеоэндоскопической диагностики

Разработана укрупненная процедура (алгоритм) формирования на основе БТК интегральных признаков заболевания для поддержки диагностического заключения, содержащая этапы: 1) определение для пациента возможных классов заболеваний в исследуемой области на основании данных истории болезни; 2) представление имеющихся в истории болезни сведений в виде данных о влиянии на этиологию и патогенез заболевания следующих факторов: патогенетических (наследственная отягощенность, возраст, сопутствующие заболевания и др.) и симптоматических (диспепсия, загрудинная боль, хеликобактерная инфекция и др.); 3) построение на их основе многофакторной модели выявления предполагаемых видов заболеваний (язвенная болезнь, полип, гастрит и др.), позволяющей

предварительно определить множество патологий на видеоизображении; 4) целенаправленный поиск информативных признаков на видеоизображении.

На основе построенной модели восприятия врачом визуальных данных ВЭС установлено, что при наличии СППР, формирующей интегральные признаки для поддержки диагностики, с возрастанием общего числа диагностических признаков наблюдается значительное (до 30 %) увеличение индекса их восприятия при применении предлагаемого БТК.

Для использования БТК в диагностике необходимо выполнить предварительную настройку подсистемы поддержки принятия решений и подсистемы обработки изображений. Для этого в данной главе разработаны соответствующие алгоритмы. Алгоритм настройки параметров подсистемы обработки видеоэндоскопических изображений представлен на рисунке 5. Необходимость в таком алгоритме обусловлена наличием в медицинских учреждениях эндоскопического оборудования с различными параметрами его оптической системы.

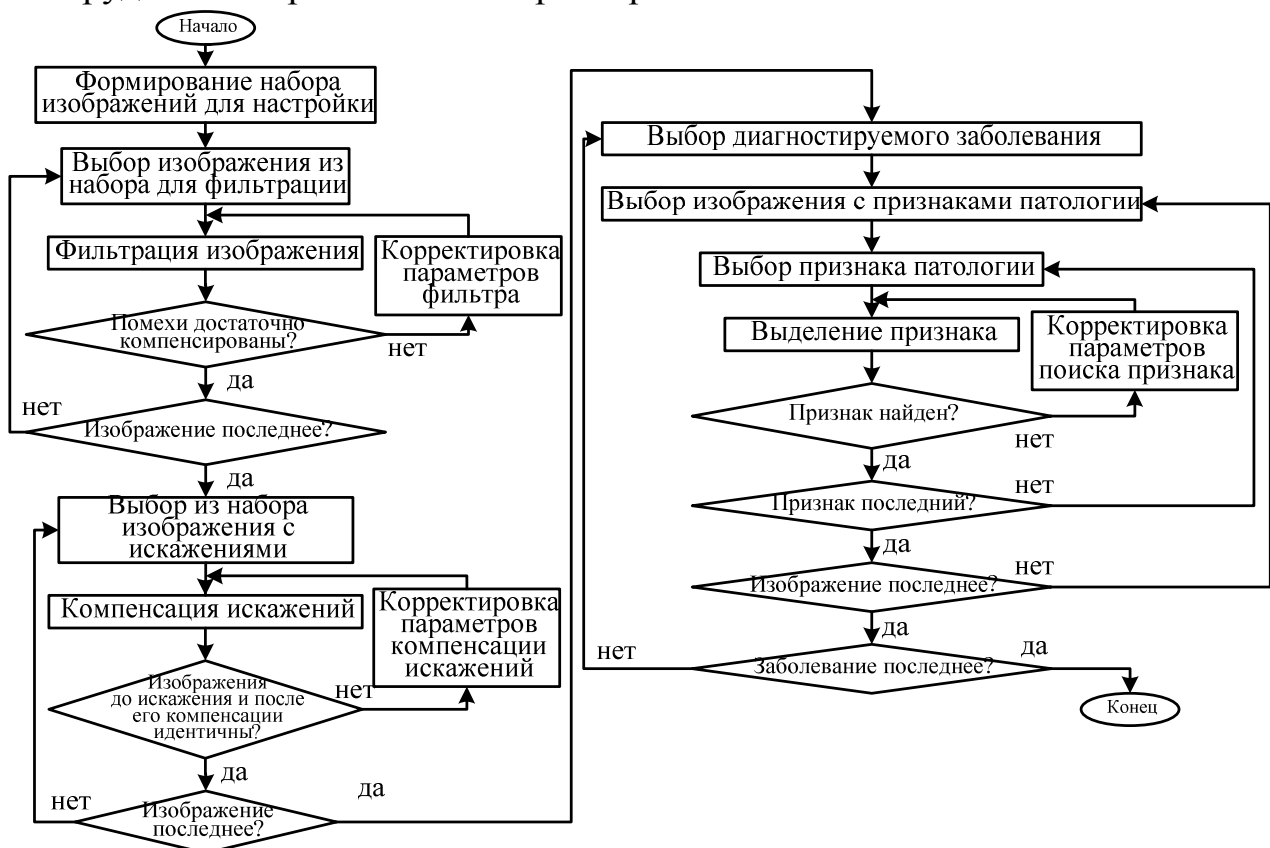


Рисунок 5 – Алгоритм настройки параметров системы обработки видеоизображений

На основе выявленных факторов, ухудшающих правильное распознавание объектов на видеоэндоскопическом изображении, разработан обобщенный алгоритм обработки видеоизображений для компенсации данных факторов. Приведено обоснование выбора и описаны особенности применения различных частных методов обработки видеоэндоскопических изображений, позволяющих улучшить качество изображения и снизить вероятность неправильного распознавания визуальных признаков патологий врачом. Так, визуальные признаки патологии «язва» выявляются детектором Собела, который наилучшим образом реагирует на резкий

перепад яркости между дном язвы и воспалительным валом. Данный детектор использует маски размера 3×3 пикселя (рисунок 6).

-1	-2	-1	-1	0	1
0	0	0	2	0	2
1	2	1	-1	0	1

Рисунок 6 – Маски детектора Собела для выявления признаков язвы

Разработаны алгоритмы для оценки степеней важности факторов и признаков заболеваний, а также коэффициентов корреляции между факторами.

В третьей главе «*Модели и методы компьютерной поддержки постановки диагноза в видеоэндоскопии на основе нечеткой логики и искусственных нейронных сетей*» разработана концепция построения подсистемы поддержки принятия решений предлагаемого биотехнического комплекса как системы нечеткого логического вывода (НЛВ). Она представлена в виде двух структурных единиц: блока поддержки принятия решений и блока решающих правил и ориентирована на поддержку диагностики на двух этапах. На этапе предварительной диагностики (до проведения эндоскопического исследования) на основе данных из историй болезни указанная система позволяет определить заранее возможные патологии и сформировать диагностические рекомендации. Затем на этапе видеоэндоскопической диагностики они подтверждаются или опровергаются на основе анализа получаемой видеоинформации.

Преимуществом нечеткой логики является возможность описывать функционирование системы с помощью так называемых правил нечетких продукций (ПНП). Диагностическую значимость ПНП предложено определять вначале на основании мнений экспертов, когда задаются начальные значения весов, а затем с помощью аппарата нейронных сетей производится их корректировка.

Отличительной особенностью данной совокупности правил является выделение в отдельную группу так называемых болевых факторов, так как боль и ее характеристики являются одними из наиболее важных факторов диагностики заболеваний пищеварительной системы. На основе указанных особенностей проводится обоснование выбора вида правил нечетких продукций. В соответствии с этим при реализации первого этапа НЛВ составлено 26 правил нечетких продукций следующего вида:

ЕСЛИ: «Условие₁ = истина» **И** «Условие₂ = истина»... **И** «Условие_n = истина»

ТО: «Заключение₁ = истина» **И** «Заключение₂ = истина»... **И** «Заключение_m = истина»

В ПНП соединения через «**ИЛИ**» не рассматриваются. При наличии данной логической операции в условии, ПНП разбивается на несколько более мелких правил. Если ПНП содержит «**ИЛИ**» в заключительной части, то оно не обладает необходимой для диагностики специфичностью.

На основе анализа данных 75 историй болезни пациентов Рязанской городской клинической больницы было выбрано 18 входных и 3 выходных необходимых лингвистических переменных системы, произведена их классификация и определены области (варианты) значений. Далее при реализации второго этапа НЛВ на основе данных экспертных оценок, историй болезней, материалов печатных изданий построены 34 функции принадлежности для лингвистических значений 7

входных (ВхЛП) и 3 выходных (ВыхЛП) нечетких лингвистических переменных. Функции принадлежности μ четкой величины нечеткому терм-множеству, соответствующему одному из значений ВхЛП, были определены с помощью методов экспертной оценки следующим образом. Пусть эксперт \mathcal{E}_1 считает, что конкретное значение x^* принадлежит нечеткому терм-множеству при $a_1 \leq x^* \leq b_1$; эксперт \mathcal{E}_2 – при $a_2 \leq x^* \leq b_2$; ... ; эксперт \mathcal{E}_g – при $a_g \leq x^* \leq b_g$. Тогда функция принадлежности (ФП) терма может быть получена в виде, показанном на рисунке 7. Пример такой ФП для ВхЛП «Связь боли с приемом пищи» (СБПП) представлен на рисунке 8.

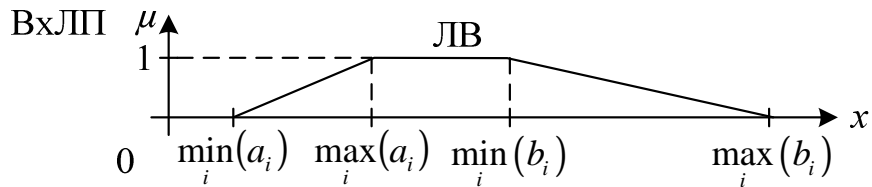


Рисунок 7 – Получение ФП терма

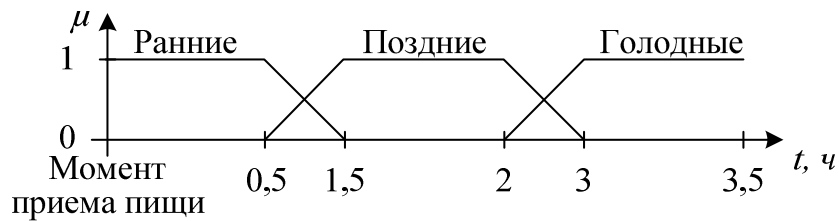


Рисунок 8 – ФП для ВхЛП «СБПП»

На представленных рисунках по горизонтальной оси откладываются значения четкой фазифицируемой переменной, $i = \overline{1, g}$ – номер эксперта, g – их количество. По вертикальной оси μ откладывается доля всех экспертов, которые считают, что данное значение x принадлежит данному лингвистическому значению лингвистической переменной. При этом изначально участки функции принадлежности при $x \in \left(\min_i(a_i), \max_i(a_i) \right) \cup \left(\min_i(b_i), \max_i(b_i) \right)$ получаются криволинейными и приводятся к линейному виду с помощью метода наименьших квадратов. Оставшиеся 11 входных ЛП являлись изначально нечеткими и использовались в ПНП без фаззификации.

Следующий этап НЛВ (агрегирование) применялся к ПНП, условия которых содержали более одного подусловия. Условная часть таких правил имеет вид:

ЕСЛИ: «ВхЛП₁ = З_{н11}» **ИЛИ ... ИЛИ** «ВхЛП₁ = З_{н1m}»
 \vdots
И «ВхЛП_n = З_{нn1}» **ИЛИ ... ИЛИ** «ВхЛП_n = З_{нnm}»

Каждое из n условий ««ВхЛП_i = З_{нi1}» **ИЛИ ... ИЛИ** «ВхЛП_i = З_{нij}»» состоит из m подусловий «ВхЛП_i = З_{нij}», где З_{нij} – j -е значение i -й ЛП в подусловии. Его номер определяется номером значения входной ЛП: ij . Обозначим степени истинности подусловий (ПУ) с номером ij соответственно μ_{ij} . Для всех подусловий данного ПНП сформирована матрица М:

$$M = \begin{pmatrix} \mu_{11} & \mu_{12} & \dots & \mu_{1m} \\ \mu_{21} & \mu_{22} & \dots & \mu_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \mu_{n1} & \mu_{n2} & \dots & \mu_{nm} \end{pmatrix}.$$

Используя данную матрицу на этапах НЛВ с третьего по шестой, получаем формулу для расчета коэффициента χ уверенности системы в правильности решения, который рассчитывается для каждого из возможных заболеваний, на выявление которых нацелена система.

$$\chi_u = \int_{Min}^{Max} y_u \cdot \max_v \left(\tilde{\mu}_{uv}(y_u) \cdot \frac{\sum_{k=1}^{q_{uv}} F_k \cdot \min_i \left(\max_j (\mu_{ij}(x_i)) \right)}{\sum_{k=1}^{q_{uv}} F_k} \right) dy_u \Bigg/ \int_{Min}^{Max} \max_v \left(\tilde{\mu}_{uv}(y_u) \cdot \frac{\sum_{k=1}^{q_{uv}} F_k \cdot \min_i \left(\max_j (\mu_{ij}(x_i)) \right)}{\sum_{k=1}^{q_{uv}} F_k} \right) dy_u,$$

где Min, Max – левая и правая границы интервала носителя нечеткого множества рассматриваемой ВыхЛП ω_u ; $F_k, k = \overline{1, q_{uv}}$, – весовые коэффициенты правил; q_{uv} – количество ПНП, где в заключении определяется ФП термина u ВыхЛП v ; $\tilde{\mu}_{uv}(y_u)$ – исходная ФП v -го термина u -й ВыхЛП.

Стоит отметить, что веса правил меняются в зависимости от появления новых фактов, а также выводов, еще точнее доказывающих или, напротив, опровергающих известные ранее данные. Часто эксперты сильно расходятся во мнениях, а иногда мнения и вовсе противоречивы. Для устранения данной неопределенности для настройки весов ПНП система логического вывода представляется в виде гибридной (а именно нечеткой) нейронной сети (рисунок 9). Ее структура идентична многослойной сети, но ее слои соответствуют этапам нечеткого логического вывода, по которым последовательно выполняются следующие функции:

- входной слой выполняет функцию фаззификации (приведения к нечеткости) на основе заданных входных функций принадлежности;
- выходной слой реализует функцию дефаззификации (приведения к четкости);
- скрытые слои отображают совокупность ПНП и следующие этапы вывода: агрегирование, активацию и аккумуляцию.

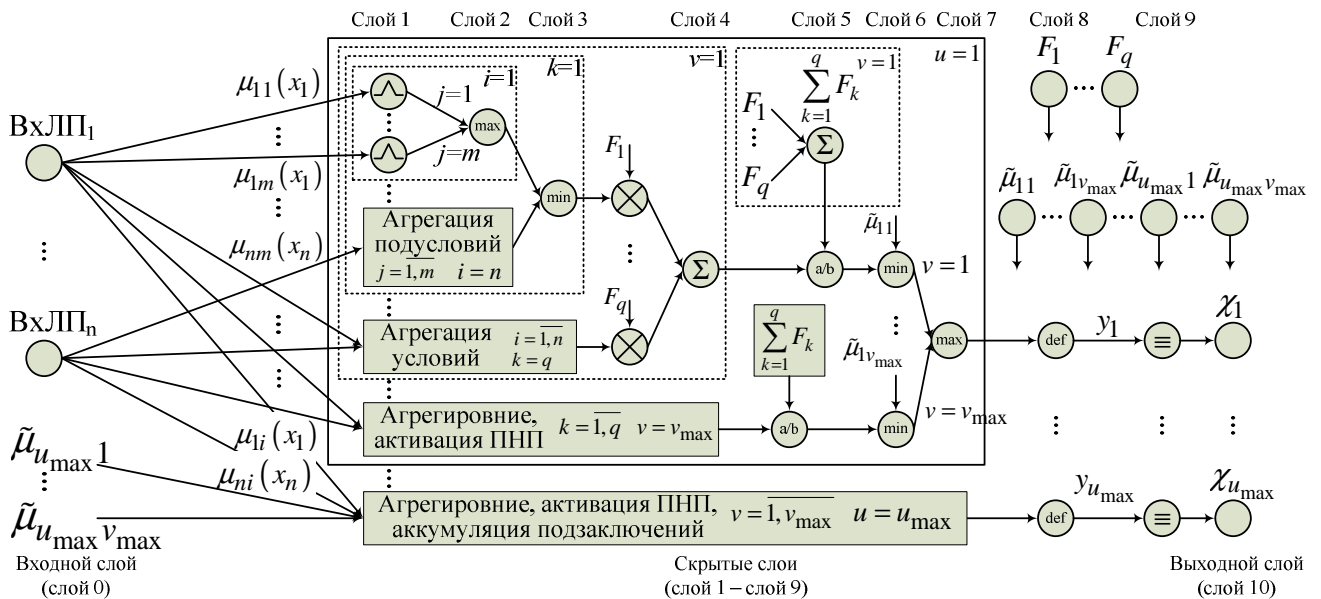


Рисунок 9 – Структура гибридной нейронной сети

На рисунке 9 нейроны с обозначениями \min , \max и Σ работают как соответствующие математические функции. Нейроны, обозначенные знаком « \times », передают на выход произведение входных сигналов. Знаком « \equiv » обозначены нейроны, устанавливающие соответствие между промежуточными ЛП и ВыхЛП, а « \wedge » – нейроны, реализующие операцию фаззификации для каждого термина всех ВхЛП. Узел «a/b» предназначен для деления входной величины на сумму весов активных правил. Нейрон «def» реализует функцию дефаззификации методом центра тяжести. Выбор входения ВхЛП в условия правил производится в виде весов логических уровней «0» и «1», на которые умножаются соответствующие функции принадлежности $\mu_{ij}(x_i)$, где $i = \overline{1, n}$ – номер ВхЛП, а $j = \overline{1, m}$ – номер ее термина.

Нейросеть обучена по алгоритму обратного распространения ошибки, модифицированному для применения в нечетких нейронных сетях. С учетом, что слои нейронов с точно определенными параметрами представлены одним слоем со сложной активационной функцией, нечеткая ИНС идентична трехслойной ИНС с одним скрытым слоем. Таким образом, обучение сети сводится к обучению трехслойного персептрона. Стоит отметить, что нечеткая нейронная сеть применяется только в случае изменения структуры СППР (изменения совокупности ППП, входных или выходных ЛП), а также при появлении в литературе или медицинской практике новых фактов, доказывающих или опровергающих известные ранее данные.

В четвертой главе «Программная реализация поддержки принятия врачом диагностических решений на основе предлагаемых методов обработки данных историй болезней и видеоизображений» описывается разработанное в среде MATLAB программное обеспечение, реализующее предложенные в работе методы. Его графический пользовательский интерфейс, представленный на рисунке 10, отображает видеоинформацию, признаки патологий и другие данные в форме, удобной для врача. На рисунке 11 изображены результаты: выделение патологии, просмотр изображения в различной цветовой гамме, компенсация геометрических искажений.

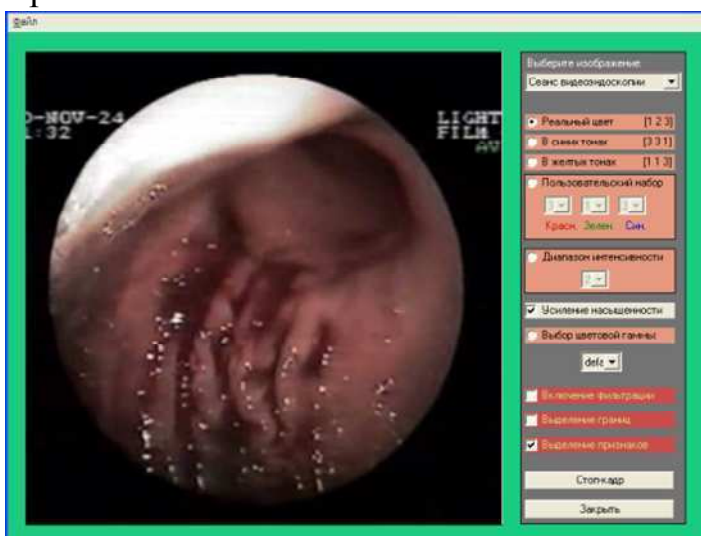


Рисунок 10 – Основное окно программы

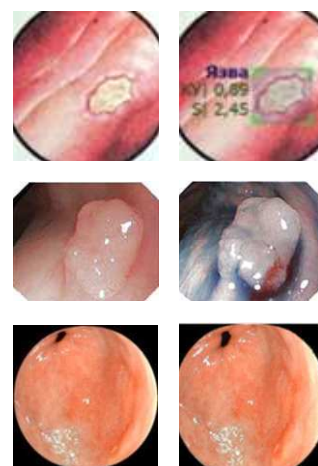


Рисунок 11 – Исходные изображения (слева) и результаты (справа) применения предложенных методов обработки изображений

Представлены результаты вычисления степеней корреляции влияющих факторов на основе формулы Пирсона для данных качественного характера:

$$C = \sqrt{\left(\left(\sum_{i=1}^{k_1} \sum_{j=1}^{k_2} \frac{f_{ij}^2}{f_i f_j} \right) - 1 \right) / \left(\sum_{i=1}^{k_1} \sum_{j=1}^{k_2} \frac{f_{ij}^2}{f_i f_j} \right)}$$

где f_i - количество возможных значений i -го фактора, f_j - количество возможных значений j -го фактора, f_{ij} - количество образуемых данными значениями пар. Превышение значения коэффициента корреляции C пороговой величины $C_{порог}$ (в данном случае $C_{порог} = 0,65$) говорит о тесной связи между сравниваемыми факторами. Это означает, что при наличии одного фактора из пары, скорее всего, присутствует и другой, поэтому один из них не учитывается. Таким образом, используя формулу Пирсона и закон Парето, выявляем 6 наиболее существенных факторов, коэффициенты C которых представлены на рисунке 12.

	A	B	C	D	E	F
1		НалБ	ХарБ	ЛокБ	СБПП	Изжога
2	НалБ		0,23	0,38	0,17	0,24
3	ХарБ			0,15	0,16	0,41
4	ЛокБ				0,44	0,26

Рисунок 12 – Вычисление коэффициентов парной корреляции факторов

В главе 4 представлены графические интерфейсы программных модулей экспертного задания степеней их важности интервальными и точными значениями, моделирования работы системы нечеткого вывода (с использованием разработанного в главе 3 набора ПНП и лингвистических переменных), а также построения поверхности для определения корреляции нечетких факторов попарно и влияния каждой их пары на формирование конечной рекомендации по постановке диагноза, представленной на рисунке 13.

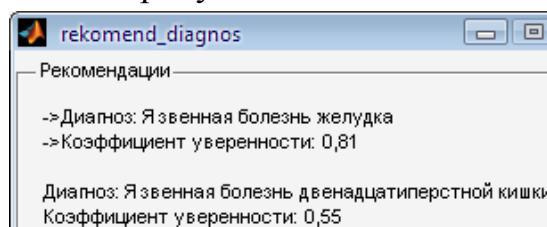


Рисунок 13 – Окно с рекомендациями по постановке диагноза

Проанализированы данные выборочной совокупности историй болезней гастроэнтерологических отделений двух больниц г. Рязани, на основе чего построены половозрастные диаграммы и выбраны наиболее важные симптоматические и патогенетические факторы, которые необходимо использовать при диагностике заболеваний желудочно-кишечного тракта.

Разработаны рекомендации врачу-клиницисту и врачу-эндоскописту для диагностики заболеваний желудочно-кишечного тракта с использованием предложенного биотехнического комплекса. Рекомендации включают алгоритм обследования пациента гастроэнтерологического отделения и детальное описание по использованию врачом разработанного программного обеспечения на этапах ввода исходных данных, предварительной диагностики на основе истории болезни с использованием БТК, видеоэндоскопической диагностики с использованием БТК и постановки заключительного диагноза с учетом рекомендаций СППР.

В заключении излагаются основные результаты теоретических исследований и практических разработок, представленных в диссертационной работе.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Снижено влияние субъективных факторов на достоверность формируемого врачом диагностического заключения (решения). Для этого разработано программно-алгоритмическое и аппаратное обеспечение системы для поддержки постановки врачом диагноза с минимальной остаточной неопределенностью решения, в условиях ограничения на время эндоскопического обследования, за счет замены эвристик на процедуры нечеткого логического вывода на основе компьютерной обработки результатов обследований, а также симптоматических и патогенетических факторов заболеваний желудочно-кишечного тракта (ЖКТ).

2. Предложены модели оценки качества системы видеоэндоскопической диагностики заболеваний пищеварительной системы пациента с использованием диаграмм причин-результатов и временных графов для выявления факторов недостоверности и наиболее длительных этапов диагностики с целью их снижения путем решения системой сформулированных на их основе новых функциональных задач.

3. Рассмотрены необходимые функции и структура средств для реализации углубленной видеоэндоскопической диагностики. Предложены три варианта структур биотехнического комплекса (БТК) с дополнительными функциональными возможностями, отличающиеся его составом и назначением.

4. Выявлены специфические свойства видеоизображений внутренних поверхностей биообъекта, принимаемых врачом на основе когнитивных (психологических) преобразований в качестве признаков патологии. В соответствии с выявленными свойствами изображений обследуемой внутренней поверхности ЖКТ выбрана совокупность необходимых методов обработки видеоизображений, ориентированных на формирование специальных данных о патологиях.

5. Разработаны подсистема поддержки принятия решений в виде нечеткой нейронной сети, обобщенный алгоритм настройки ее параметров, а также алгоритм для вычисления коэффициентов корреляции между факторами. На их основе определены степени важности факторов и признаков заболеваний, а также сформирована совокупность правил нечетких продукций и построены их функции принадлежности.

6. Разработано программное обеспечение БТК, а также рекомендации врачу-клиницисту и врачу-эндоскописту для диагностики заболеваний желудочно-кишечного тракта (на примере язвенной болезни желудка и двенадцатиперстной кишки) с его использованием. Рекомендации включают алгоритм обследования пациента гастроэнтерологического отделения и детальное описание по использованию врачом разработанного программного обеспечения.

На основе предложенных моделей, алгоритмов и средств обработки данных о заболеваниях проанализированы данные выборочной совокупности историй болезней гастроэнтерологических отделений двух больниц г. Рязани, на основе чего построены половозрастные диаграммы и выбраны наиболее важные симптоматические и патогенетические факторы.

Представленные результаты и сформулированные выводы позволяют утверждать, что задачи диссертационной работы решены в полном объеме, а поставленная цель исследований достигнута.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Черепнин А.А., Локтюхин В.Н. Структурно-функциональная организация медико-компьютерной системы динамических видеоэндоскопических изображений // Физика полупроводников. Микроэлектроника. Радиоэлектронные устройства: межвуз. сб. науч. тр. Рязань: РГРТА. 2005. С. 40-44.
2. Черепнин А.А. Совершенствование медико-компьютерных систем обработки динамических видеоэндоскопических изображений // Биотехнические, медицинские и экологические системы и комплексы. Биомедсистемы – 2005: материалы 18-й всероссийской НТК студентов, молодых ученых и специалистов. Рязань: РГРТА. 2005. С. 125-126.
3. Черепнин А.А. Принципы организации компьютерной системы поддержки принятия решений при проведении видеоэндоскопической диагностики // Техническая кибернетика, радиоэлектроника и системы управления: тезисы докладов 8-й всероссийской научной конференции студентов и аспирантов. Таганрог: ТГРТУ. 2006. С. 299-300.
4. Черепнин А.А. Оценка периода опроса кадров при проведении видеоэндоскопического обследования // Биотехнические, медицинские и экологические системы и комплексы. Биомедсистемы – 2006: материалы 19-й всероссийской НТК студентов, молодых ученых и специалистов. Рязань: РГРТА. 2006. С. 104-105.
5. Черепнин А.А., Локтюхин В.Н., Иванова Т.Б. Совершенствование медико-компьютерных систем обработки видеоэндоскопических изображений // Вестник аритмологии. Приложение А. СПб.: 2006. С. 157.
6. Черепнин А.А., Локтюхин В.Н. Принципы компьютерной поддержки принятия решений при видеоэндоскопическом обследовании // Биотехнические, медицинские и экологические системы и комплексы. Биомедсистемы – 2006: материалы 19-й всероссийской НТК студентов, молодых ученых и специалистов. Рязань: РГРТА. 2006. С. 122-123.
7. Черепнин А.А. Принципы организации компьютерной системы поддержки принятия решений при проведении видеоэндоскопической диагностики // Физика полупроводников. Микроэлектроника. Радиоэлектронные устройства: межвуз. сб. науч. тр. Рязань: РГРТА. 2006. С. 37-41.
8. Иванова Т.Б., Локтюхин В.Н., Черепнин А.А. Принципы организации видеоэндоскопической системы с расширенными функциональными возможностями // Вестник РГРТУ, вып. 21. Рязань: РГРТУ. 2007. С. 40-43.
9. Черепнин А.А., Локтюхин В.Н. Компьютерная поддержка принятия решений в видеоэндоскопии на основе нечеткой логики // Вестник аритмологии. Приложение А. С-Пб.: 2008. С. 160.
10. Черепнин А.А., Локтюхин В.Н., Иванова Т.Б. Принципы организации поддержки принятия решений при видеоэндоскопическом обследовании // Современные диагностические и восстановительные технологии: сб. науч. тр. Рязанской ОКБ под ред. Соколова А.В., вып. 4. Рязань: РязГМУ. 2008. С. 337-341.
11. Бутов М.А., Локтюхин В.Н., Маслова О.А., Черепнин А.А. Применение нечеткой логики в видеоэндоскопических системах с расширенными функциональными возможностями // Вестник РГРТУ, вып. 23. Рязань: РГРТУ. 2008. С. 101-106.
12. Черепнин А.А., Локтюхин В.Н. Подсистема поддержки принятия диагностических решений в видеоэндоскопии на основе нейронечеткой технологии // Проблемы передачи и обработки информации в сетях и системах телекоммуникаций: материалы 15-й международной НТК. Рязань: РГРТУ. 2008. С. 107-108.
13. Черепнин А.А. Поддержка углубленной видеоэндоскопической диагностики на основе нечетких технологий // Интеллектуальные системы – 2008: труды 8-го международного симпозиума. Нижний Новгород: РУСАКИ. 2008. С. 642-647.
14. Пастушенко Д.А., Черепнин А.А. Методы и алгоритмы обработки видеоэндоскопических изображений // Новые информационные технологии в научных

исследованиях и образовании: материалы 13-й всероссийской технической конференции студентов. Часть 2. Рязань: РГРТУ. 2008. С. 88-89.

15. Апушкина А.Ю., Черепнин А.А. Подсистема поддержки постановки диагноза при видеоэндоскопическом обследовании с использованием нечеткой логики // Новые информационные технологии в научных исследованиях и образовании: материалы 13-й всероссийской НТК студентов. Часть 2. Рязань: РГРТУ. 2008. С. 87-88.

16. Черепнин А.А., Локтюхин В.Н. Аппаратно-программное обеспечение поддержки углубленной видеоэндоскопической диагностики // Методы компьютерной диагностики в биологии и медицине: материалы всероссийской научной школы-семинара. Саратов: СГУ. 2008. С. 93-95.

17. Черепнин А.А., Локтюхин В.Н. Способ анализа диагностической важности обследований при выявлении патологий желудочно-кишечного тракта // Биотехнические, медицинские и экологические системы и комплексы. Биомедсистемы – 2008: материалы 21-й всероссийской НТК студентов, молодых ученых и специалистов. Рязань: РГРТУ. 2008. С. 287-288.

18. Черепнин А.А., Локтюхин В.Н. Оценка эффективности диагностических алгоритмов при выявлении патологий желудочно-кишечного тракта // Биотехнические, медицинские и экологические системы и комплексы. Биомедсистемы – 2008: материалы 21-й всероссийской НТК студентов, молодых ученых и специалистов. Рязань: РГРТУ. 2008. С. 288-290.

19. Черепнин А.А., Апушкина А.Ю. Анализ степени важности симптоматических и патогенетических факторов при выявлении патологий пищеварительной системы // Биотехнические, медицинские и экологические системы и комплексы. Биомедсистемы – 2008: материалы 21-й всероссийской НТК студентов, молодых ученых и специалистов. Рязань: РГРТУ. 2008. С. 290-291.

20. Локтюхин В.Н., Черепнин А.А. Поддержка принятия решений на основе нейронечеткой технологии при диагностике патологий желудочно-кишечного тракта // Биотехносфера, № 2. СПб.: Политехника. 2009. С. 20-23.

21. Черепнин А.А. Анализ процедуры видеоэндоскопического обследования с использованием ориентированных графов // Информационные и управленческие технологии в медицине и экологии: сборник статей III всероссийской НТК. Пенза: Приволжский дом знаний. 2009. С. 122-125.

22. Локтюхин В.Н., Михеев А.А., Черепнин А.А. и др. Нейробионический подход к построению медико-измерительных систем // Биомедицинская радиоэлектроника. 2009. № 7. С. 21-25.

23. Локтюхин В.Н., Мальченко С.И., Черепнин А.А. Основы математического обеспечения поддержки диагностических решений в биотехнических системах с использованием нечеткой логики: учебное пособие. Рязань: РГРТУ, 2009. 64 с.

24. Черепнин А.А. Разработка биотехнического комплекса для углубленной видеоэндоскопической диагностики // Приоритетные направления современной российской науки глазами молодых ученых: материалы всероссийской научно-практической конференции молодых ученых и специалистов. Рязань: РГУ им. С.А. Есенина, 2009. С. 114-117.

25. Черепнин А.А. Компьютерная система выявления признаков заболеваний желудочно-кишечного тракта на основе нечеткой логики // Биотехнические, медицинские и экологические системы и комплексы: материалы международной конференции с элементами научной школы для молодежи. Рязань: РГРТУ, 2009. С. 381.

Ч е р е п н и н Алексей Анатольевич

Модели, алгоритмы и средства для поддержки принятия диагностических
решений при эндоскопическом обследовании на основе технологии
нечеткой логики

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать 14.05.2010г. Формат бумаги 60X84 1/16
Бумага офсетная. Печать трафаретная. Усл. печ. л. 1,0.
Тираж 100 экз. Заказ 150

Участок оперативной полиграфии Рязоблстатуправления.
390013, г. Рязань, ул. Типанова, д. 4.