

На правах рукописи



**Омирова Наргиз Идаят кызы**

**СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ВРАЧА-УРОЛОГА  
ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ УРОЛИТИАЗА**

Специальность: 05.11.17 – Приборы, системы и изделия медицинского назначения

**АФТОРЕФЕРАТ**

Диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Санкт-Петербург – 2021

Работа выполнена на кафедре физики, математики и информатики ФГБОУ ВО «Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова» Министерства здравоохранения Российской Федерации и на кафедре биотехнических систем ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)» Минобрнауки РФ

**Научный руководитель:** Тишков Артем Валерьевич, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой физики математики и информатики ФГБОУ ВО «ПСПбГМУ им.ак.И.П.Павлова» (г. Санкт-Петербург).

**Официальные оппоненты:**

Гельман Виктор Яковлевич, доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Северо-Западный государственный медицинский университет имени И.И. Мечникова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, профессор кафедры медицинской информатики и физики (г. Санкт-Петербург)

Самородов Андрей Владимирович, кандидат технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э.Баумана (национальный исследовательский университет)», заведующий кафедрой биомедицинские технические системы (г. Москва)

**Ведущая организация:** Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт аналитического приборостроения Российской академии наук», (г. Санкт-Петербург)

Защита состоится «23» июня 2021 г. в «14» часов на заседании диссертационного совета Д 212.238.10 на базе ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)» (СПбГЭТУ «ЛЭТИ») по адресу: 197376, Санкт-Петербург, улица Профессора Попова, д. 5.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке СПбГЭТУ «ЛЭТИ» и на сайте университета [www.etu.ru](http://www.etu.ru) в разделе «Подготовка кадров высшей квалификации» - «Объявление о защитах».

Автореферат разослан «22» апреля 2021 года.

Ученый секретарь  
диссертационного совета Д 212.238.10



Садыкова Е.В.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** В современном мире использование информационных технологий при диагностике заболеваний позволяет повысить точность и достоверность поставленного диагноза. Данные мировой статистики показывают, что уролитиаз является одним из распространенных заболеваний. По данным Европейской урологической ассоциации данное заболевание встречается у 5-10% населения планеты.

В России по данным официальной статистики министерства здравоохранения по общей заболеваемости населения абсолютное количество зафиксированных больных с диагнозом уролитиаз с 2009 по 2018 гг. возросло, поднявшись с 738130 до 891552 человек, что составляет 17,2%. С 2018 по 2019 год данный показатель понизился всего на 0,2%. Количество зафиксированных больных на 100 000 жителей с 2009 по 2018 года повысилось с 520,1 до 607,2 (14,3%). С 2018 по 2019 данный показатель понизился лишь 0,2%.

При диагностике уролитиаза врачу-урологу по большому количеству лабораторных исследований необходимо принять решение о дальнейшей тактике лечения и необходимости проведения инструментальной диагностики. Для решения данной проблемы предлагается создание системы поддержки принятия решений (СППР) врача-уролога для диагностики уролитиаза, которая повысит точность и результативность диагностики заболевания. Данные факторы подтверждают **актуальность** создания системы поддержки принятия решений врача-уролога для диагностики уролитиаза. Актуальность диссертационного исследования обусловлена важностью повышения уровня точности диагностики уролитиаза за счет объединения в структуре СППР методов нечеткой логики, интеллектуального, статистического анализа данных и экспертных оценок. Усовершенствования методов формирования базы - нечетких правил при диагностике уролитиаза. Повышения эффективности работы СППР врача - уролога за счет добавления коэффициентов уверенности наличия заболевания. Разработки метода конструирования нового атрибута для дальнейшего увеличения имеющейся выборки и получения новых знаний из данных

Проведя анализ показателей заболеваемости населения и частоты возникновения рецидивов уролитиаза, а также рассмотрев применяемые информационные системы и СППР для диагностики заболеваний можно сделать вывод об отсутствии комплексного применения в существующих СППР для диагностики уролитиаза методов нечеткой логики, интеллектуального и статистического анализа данных.

В применяемых СППР для диагностики уролитиаза в структуре, которых используется нечеткая логика, в качестве исходной информации не используются данные лабораторной диагностики, такие как клинический и биохимический анализ крови и мочи. Отсутствуют примеры использования интеллектуального анализа данных для формирования нечетких правил, которые в дальнейшем используются при диагностике уролитиаза.

**Цель исследования.** Целью диссертационной работы является, разработка системы поддержки принятия решений для повышения уровня точности диагностики уролитиаза, посредством совместного применения методов нечеткой логики и интеллектуального, статистического анализа данных и экспертных оценок.

**Объектом исследования** является СППР врача – уролога для диагностики уrolитиаза.

**Предметом исследования** являются модели и методики системы поддержки принятия решений врача-уролога для диагностики уrolитиаза.

Для достижения поставленной цели в диссертационной работе должны быть поставлены и решены следующие задачи:

1. Определение СППР врача-уролога, как часть биотехнической системы диагностики уrolитиаза.

2. Разработка обобщенного алгоритма принятия решений в СППР врача-уролога для диагностики уrolитиаза.

3. Разработка методики формирования набора информативных показателей для диагностики уrolитиаза, используя результаты общего и биохимического анализа мочи и крови. На основе разработанной методики сформировать набор информативных показателей, которые будут использоваться при диагностике уrolитиаза.

4. Разработка методики повышения точности СППР для диагностики уrolитиаза, в которой совместно используется интеллектуальный анализ данных, нечеткая логика, статистический анализ и мнение эксперта.

5. Разработка методики, которая позволит сконструировать новый атрибут с использованием методов статистического, интеллектуального анализа данных, нечеткой логики, и привлечением экспертного мнения. Сконструировать коэффициенты уверенности наличия уrolитиаза.

6. Разработка методики создания базы нечетких правил, которая будет применяться при диагностике уrolитиаза, с использованием статистического, интеллектуального анализа данных и привлечения экспертного мнения. На основе разработанной методики сформировать базу нечетких правил.

7. Создание нечетких моделей, в том числе функции и графики принадлежности, терм-множества для входных и выходных переменных

8. Разработать структуру СППР врача-уролога для диагностики уrolитиаза.

9. Провести экспериментальную апробацию СППР врача-уролога.

Решение задач диссертационного исследования позволило получить следующие **новые научные результаты**:

1. Структура разработанной СППР, в отличие от существующих в данной проблемной области, дает возможность синтезировать и одновременно использовать возможности нечеткой логики и интеллектуального, статистического анализа данных и экспертных оценок.

2. Разработка и применение методики повышения уровня точности СППР врача-уролога для диагностики уrolитиаза, позволяет в отличие от известных, учесть предлагаемый автором способом увеличения исходной выборки новыми атрибутами - коэффициентами уверенности наличия уrolитиаза.

3. Разработка и применение методики конструирования нового атрибута – коэффициента уверенности наличия уrolитиаза, в отличие от существующих методик дает возможность применить результат нечеткой логики – дефазифицированный нечеткий выход в качестве нового сконструированного атрибута.

4. Предложенная методика формирования базы нечетких правил, которая будет использоваться при диагностике уролитиаза, и ранее не использовалась в данной проблемной области, позволяет организовать совместное применение методов интеллектуального анализа данных и экспертных оценок, что дает возможность сформировать уникальные нечеткие правила после выявления новых зависимостей и получения новых знаний из данных общего и биохимического анализа мочи и крови.

#### **Практическая и теоретическая значимость работы**

Теоретическая ценность состоит в развитии методов нечеткой логики и интеллектуального анализа данных и формировании алгоритма их использования в структуре системы поддержки принятия решений для диагностики уролитиаза.

Практическая значимость реализуется в предложенной автором структуре системы поддержки принятия решений врача-уролога, позволяющей повысить точность диагностики уролитиаза, что приведет к повышению уровня качества жизни населения.

#### **Методы исследования**

В работе использовались методы статистического анализа, нечеткой логики, интеллектуального анализа данных, технологии разработки СППР, объектно-ориентированного программирования.

#### **Научные положения, выносимые на защиту:**

Для повышения точности диагностики уролитиаза в СППР врача-уролога необходимо:

1. В структуре СППР врача-уролога для диагностики уролитиаза, в отличие от существующих объединить методы нечеткой логики и интеллектуального, статистического анализа данных и экспертных оценок в подсистемах «Конструирования нового атрибута» и «Формирования предполагаемого диагноза».

2. В методике повышения точности СППР врача-уролога для диагностики уролитиаза, использовать в качестве способа повышения уровня точности добавление к исходным данным сконструированных коэффициентов уверенности наличия уролитиаза

3. В методике конструирования нового атрибута, отражающего уровень уверенности наличия уролитиаза, использовать результат работы нечеткой модели – дефазифицированный выход

4. В методике создания базы нечетких правил для диагностики уролитиаза, организовать совместное использование возможностей нечеткой логики, интеллектуального анализа и экспертных оценок и увеличить набор правил сформированными уникальными нечеткими правилами.

Обоснованность и достоверность научных положений подтверждены результатами исследований в области создания систем поддержки принятия решений с использованием методов экспертных оценок, интеллектуального, статистического анализа данных и нечеткой логики, согласованностью теоретических выводов с практической реализацией данных алгоритмов, основные теоретические положения были апробированы в печатных трудах, докладах на международных конференциях, конгрессах.

#### **Апробация работы.**

Основные результаты работы докладывались и получили положительную оценку на: IV международном конгрессе Нейробиотелеком

2010 (Спб, 2010г); XII Санкт-Петербургской международной конференции Региональная информатика "РИ-2010" (Спб, 2010г); Грант программы «Участник молодежного научно-инновационного конкурса» («УМНИК») 2013 Тема проекта «Разработка стандартизации феномена «криогеля мочи» для верификации интерстициального поражения почек и уролитиаза» (Спб, 2013г); Грант программы «Участник молодежного научно-инновационного конкурса» («УМНИК») 2014 Тема проекта «Разработка стандартизации феномена «криогеля мочи» для верификации интерстициального поражения почек и уролитиаза» (Спб, 2014г); XIII Международном конгрессе «КАРДИОСТИМ» (Санкт-Петербург 15-17 февраля 2018 года); Международной конференции «Региональная информатика и информационная безопасность» (Санкт-Петербург 2018 год), Международной конференции «Региональная информатика и информационная безопасность» (Санкт-Петербург 2020 год)

**Внедрение результатов работы.** Результаты диссертационной работы внедрены и используются в научных исследованиях и учебном процессе на кафедрах «Физики, математики и информатики», «Клинической лабораторной диагностики с курсом молекулярной медицины» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, что подтверждено соответствующими актами внедрения.

Результаты диссертационной работы внедрены в лечебно-диагностический процесс ФГБОУ ВО ПСПбГМУ им. акад. И.П. Павлова.

**Публикации:** Основные результаты диссертации опубликованы в 11 статьях и докладах. 6 публикации в ведущих рецензируемых изданиях ВАК, 4 статьи в других журналах. Доклады получили одобрение на 5 всероссийских и международных конференциях, получены 2 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ.

**Структура и объем работы.** Диссертация включает в себя введение, 4 главы с выводами, заключение, список литературы из 100 источников и 5 приложений. Она изложена на 161 страницах машинописного текста, включает 52 таблицы, 31 рисунок

#### **КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ**

**Во введении** раскрыта актуальность темы исследования, цель и необходимые задачи для достижения поставленной цели, приводится описание предмета, объекта и методов исследования, сформулированы научные и практические результаты, положения, которые выносятся на защиту, представлены данные по апробации исследования, описаны главы диссертации.

**В первой главе** раскрыты основные проблемы диагностики уролитиаза, а также актуальность разработки СППР врача-уролога, которая позволит повысить точность диагностики данного заболевания. Приведены основные методы лабораторной и инструментальной диагностики уролитиаза. Приведен сравнительный анализ программных продуктов для диагностики уролитиаза. По результатам данного анализа, был сделан вывод, что на данный момент не существует комплексного применения интеллектуального, статистического анализа данных и методов нечеткой логики в СППР врача -

уролога для диагностики уролитиаза. Определена цель исследования – разработка системы поддержки принятия решений для повышения уровня точности диагностики уролитиаза, посредством совместного применения методов нечеткой логики и интеллектуального, статистического анализа данных и экспертных оценок. Сформулированы задачи, предмет и объект исследования.

**Во второй главе** Описана разработанная методика формирования набора информативных показателей для диагностики уролитиаза, которая состоит из четырех этапов:

1. Проверка выборок на нормальность распределения и определение р-значения критериев Стьюдента или Манна-Уитни и размер эффекта по Коэну, в зависимости от полученных результатов определялся ранга атрибута.

2. Определение рангов исходных атрибутов с помощью оператора weight data интеллектуального анализа данных.

3. Определение ранга на основе экспертной оценки показателей. Данная оценка строилась путем расчета среднего значения показаний трех экспертов в данной предметной области.

4. Формирование итогового набора информативных показателей на основе расчета среднего значения рангов, полученных тремя разными способами

Для определения различий между выборками использовался критерий Стьюдента с неравными дисперсиями, в случае если распределения согласованы с нормальным. Манна-Уитни применяли, в случае если хоть одна из выборок была отлична от нормального распределения. Также для каждого параметра был рассчитан размер эффекта по Коэну. Проанализировав р-значения критериев Стьюдента и Манна-Уитни и размер эффекта по Коэну для каждого атрибута была установлен ранг от 1 до 27, где 1 – самый высокий ранг, а 27 – самый низкий. Определение ранга атрибута с использованием интеллектуального анализа данных производился с применением оператора weight data. При определении ранга атрибута с применением экспертной оценки учитывалось мнение трех экспертов предметной области – врачей-урологов.

Получив тремя различными методами ранги по каждому показателю, был определен итоговый ранг - информативность, путем расчета среднего значения. В случае если среднее значение по показателям одинаковое, итоговое решение по установлению информативности принимался экспертом. Применяв разработанную методику формирования набора информативных показателей для диагностики уролитиаза из 34 атрибутов были выделены 17, такие как холодная проба по Залескому М.Г., соли, цвет мочи, прозрачность мочи, бактерии, калий моча, осмолярность мочи, относительная плотность мочи, Ph, белок, цитраты, оксалаты, экскреция титруемых аминокислот, альбумин кровь, фосфор неорганический кровь, с-реактивный белок, кальций ионизированный.

В структуре предложенной биотехническая система (БТС) диагностики уролитиаза в едином контуре взаимодействий представлены пациент, врач-уролог, сотрудники отделения клиничко-лабораторной диагностики, инструментальной диагностики, физиотерапии, технические средства и оборудование для проведения лабораторных исследований,

инструментальной диагностики, физиотерапии, специализированное оборудование для проведения осмотра пациента, СППР врача-уролога. СППР врача-уролога является обязательной составной частью, предлагаемой БТС (рисунок 1).

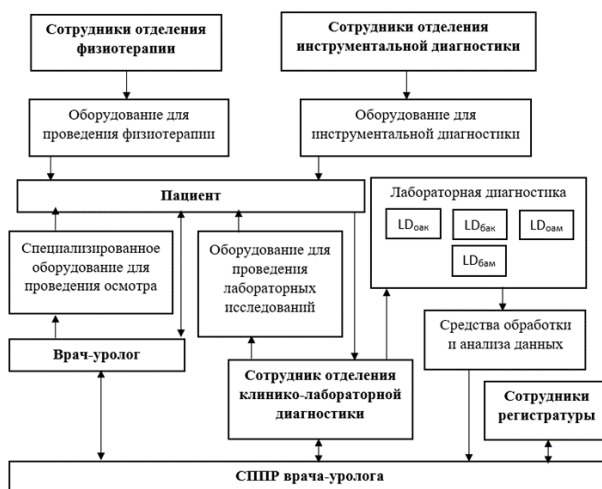


Рисунок 1 - Структура БТС диагностики уrolитиаза

Компонент LD<sub>оак</sub> объединяет результаты лабораторной диагностики по общему анализу крови. Кортеж LD<sub>оак</sub> выглядит следующим образом: LD<sub>оак</sub>=<LD<sub>оак1</sub>, LD<sub>оак2</sub>, LD<sub>оак3</sub>, LD<sub>оак4</sub>>, где LD<sub>оак1</sub> – эритроциты, LD<sub>оак2</sub> – лейкоциты, LD<sub>оак3</sub> – гемоглобин, LD<sub>оак4</sub> – тромбоциты.

Компонент LD<sub>бак</sub> объединяет результаты лабораторной диагностики по биохимическому анализу крови. Кортеж LD<sub>бак</sub> выглядит следующим образом: LD<sub>бак</sub> =<LD<sub>бак1</sub>, LD<sub>бак2</sub>, LD<sub>бак3</sub>, LD<sub>бак4</sub>, LD<sub>бак5</sub>, LD<sub>бак6</sub>>, где LD<sub>бак1</sub> – креатинин, LD<sub>бак2</sub> – мочевина, LD<sub>бак3</sub> – альбумин, LD<sub>бак4</sub> – С-реактивный белок, LD<sub>бак5</sub> – фосфор неорганический, LD<sub>бак6</sub> – кальций ионизированный, LD<sub>бак7</sub> – мочевиная кислота.

Компонент LD<sub>оам</sub> объединяет результаты лабораторной диагностики по общему анализу мочи. Кортеж LD<sub>оам</sub> выглядит следующим образом: LD<sub>оам</sub>=<LD<sub>оам1</sub>, LD<sub>оам2</sub>, LD<sub>оам3</sub>, LD<sub>оам4</sub>, LD<sub>оам5</sub>, LD<sub>оам6</sub>, LD<sub>оам7</sub>, LD<sub>оам8</sub>>, где LD<sub>оам1</sub> – соли, LD<sub>оам2</sub> – цвет, LD<sub>оам3</sub> – прозрачность, LD<sub>оам4</sub> – бактерии, LD<sub>оам5</sub> – относительная плотность, LD<sub>оам6</sub> – Ph, LD<sub>оам7</sub> – белок, LD<sub>оам8</sub> – диурез.

Компонент LD<sub>бам</sub> объединяет результаты лабораторной диагностики по биохимическому анализу мочи. Кортеж LD<sub>бам</sub> выглядит следующим образом: LD<sub>бам</sub> =< LD<sub>бам1</sub>, LD<sub>бам2</sub>, LD<sub>бам3</sub>, LD<sub>бам4</sub>, LD<sub>бам5</sub>, LD<sub>бам6</sub>, LD<sub>бам7</sub>, LD<sub>бам8</sub>, LD<sub>бам9</sub>, LD<sub>бам10</sub>>, где LD<sub>бам1</sub> – креатинин, LD<sub>бам2</sub> – мочевина мочи, LD<sub>бам3</sub> – осмолярность, LD<sub>бам4</sub> – концентрация калий, LD<sub>бам5</sub> – клиренс калий, LD<sub>бам6</sub> – цитраты, LD<sub>бам7</sub> – оксалаты, LD<sub>бам8</sub> – концентрационный индекс, LD<sub>бам9</sub> – калий моча. LD<sub>бам10</sub> – концентрация мочевиная, LD<sub>бам11</sub> – холодная проба по Залескому М.Г..

Был введен показатель TL, отражающий параметры, которые могут повлиять на варианты принятия решений по тактике лечения уrolитиаза. Кортеж TL выглядит следующим образом: TL< KY<sub>1</sub>, KY<sub>2</sub>, KY<sub>3</sub>, D<sub>p</sub> > где, KY<sub>1</sub> – коэффициент уверенности наличия уrolитиаза №1, KY<sub>2</sub> – коэффициент уверенности наличия уrolитиаза №2, KY<sub>3</sub> – коэффициент уверенности наличия уrolитиаза №3, D<sub>p</sub> – предполагаемый диагноз.

На рисунке 2 представлена общая схема СППР врача-уролога для диагностики уrolитиаза. Результатом работы СППР являются сформированные KY<sub>1</sub>, KY<sub>2</sub>, KY<sub>3</sub>, D<sub>p</sub>, их функциональную зависимость можно



определить следующим образом:  $TL \langle KY_1, KY_2, KY_3, D_p \rangle = f(D_r, LD_{оак}, LD_{бак}, LD_{оам}, LD_{бам})$ , где  $D_r, LD_{оак}, LD_{бак}, LD_{оам}, LD_{бам}$  - входные сигналы,  $f$  – связанные функциональной зависимостью выходные и входные сигналы.

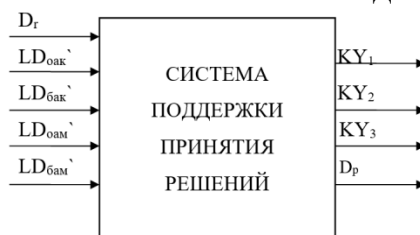


Рисунок 2 – Схема системы поддержки принятия решений уролога

Определены задачи системы поддержки принятия решений, такие как: сбор и хранение данных о пациенте (пол, возраст, ФИО и т.д.); сбор и хранение данных о результатах общего анализа крови пациента; сбор и хранение данных о результатах биохимического анализа крови пациента; сбор и хранение данных о результатах общего анализа мочи пациента; сбор и хранение данных о результатах биохимического анализа мочи пациента; формирование коэффициентов уверенности наличия уролитиаза, на основе результатов анализов полученных в ходе лабораторных исследований; формирование предполагаемого диагноза на основе полученных коэффициентов уверенности и результатов анализов, полученных в ходе лабораторных исследований; анализ полученной информации для обеспечения информационно поддержки принятия решений при выборе тактики лечения уролитиаза

Разработанная методика повышения точности СППР, позволяет реализовать совместное использование интеллектуального, статистического анализа данных, методов нечеткой логики и экспертного мнения состоит из следующих этапов:

1. Анализ исходных данных. Формирование набора информативных показателей для диагностики уролитиаза.
2. Формирование подмножеств атрибутов, на основе которых будут сконструированы новые атрибуты.
3. Определение набора классификаторов для модуля определения точности предполагаемого диагноза подсистемы формирования предполагаемого диагноза.
4. Определение точности, распознавательной и предсказательной способности классификаторов по результатам кросс-валидации.
5. Конструирование новых атрибутов с применением разработанной методики с целью увеличения количества информативных атрибутов.
6. Проверка наличия различий между выборками.
7. Добавление сконструированных атрибутов к исходной выборке.
8. Генерация различных наборов данных с помощью модуля генерации подмножеств выборок атрибутов.
9. Определение точности, распознавательной и предсказательной способности классификаторов по результатам кросс-валидации на всех сгенерированных подмножествах атрибутов.
10. Проверка наличия различий между выборками.

Сформирован набор классификаторов, который будет использоваться в подсистеме формирования предполагаемого диагноза для определения

уровня точности согласно кросс-валидации, предсказательной и распознавательной способности СППР.

Разработана методика конструирования нового атрибута, которую условно можно разделить на три этапа. Первый этап заключается в дополнительной предобработке данных и создании необходимого количества подвыборок. Вторым является формирование входных лингвистических переменных, функций и графиков принадлежности, базы нечетких правил с использованием разработанного модуля создания базы нечетких правил для диагностики уrolитиаза. Третий – определение статистически значимого различия между группами контроля и больных уrolитиазом у сконструированных атрибутов. Конечным результатом разработанной методики является новый атрибут – коэффициент уверенности наличия уrolитиаза, который отражает уровень возможности наличия уrolитиаза в градации от 0 до 10, где 0 – это крайне низкая вероятность наличия уrolитиаза, а 10 – крайне высокая вероятность.

Разработанная методика создания базы нечетких правил, отличается от существующих тем, что в своем алгоритме использует совместное применение возможностей интеллектуального анализа, экспертных оценок и нечеткой логики.

Разработана структура системы поддержки принятия решений врача-уролога (рисунок 3), в состав которой входит интерфейс пользователя; подсистема предобработки данных; подсистема конструирования нового атрибута; подсистема формирования предполагаемого диагноза; подсистема хранения данных.

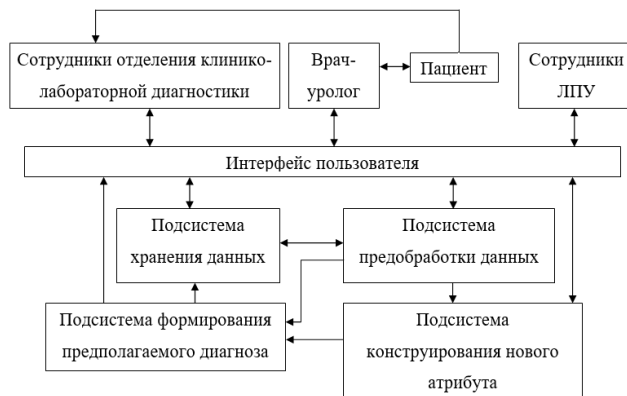


Рисунок 3 – Структура системы поддержки принятия решений врача-уролога для диагностики уrolитиаза

Основными подсистемами СППР врача-уролога являются «Подсистема конструирования нового атрибута» в которой на основе информативных показателей создаются коэффициенты уверенности наличия уrolитиаза и «Подсистема формирования предполагаемого диагноза» в которой формируется предполагаемый диагноз, а также определяется точность согласно кросс-валидации, предсказательная и распознавательная способность СППР.

**В третьей главе** разработаны и описаны методы и алгоритмы работы подсистемы конструирования новых атрибутов и подсистемы формирования предполагаемого диагноза.

Подсистема конструирования новых атрибутов основывается на нечеткой логике, результатом работы данной подсистемы является дефазифицированная выходная переменная, которая отражает вероятность

наличия заболевания коэффициент уверенности наличия уролитолиза. Чтобы проанализировать адекватность применение данной подсистемы на данных разного типа, было определено количество нечетких моделей – три. Первая для определения коэффициента уверенности на основе качественных данных, вторая на основе количественных обладающих высоким рангом и третья на количественных с невысоким рангом.

Был разработан модуль создания базы нечетких правил, в структуре которого применяется совместное использование методов статистического и интеллектуального анализа данных, а также мнение экспертов. Для каждого атрибута была определена его информативность, уровень влияния входной переменной на выходную и описана логика формирования нечетких правил с использованием информации об информативности данных. После прохождения всех этапов разработанной методики, в модуле было сформировано 96 нечетких правила для первой нечеткой модели, 62 для второй, 63 для третьей.

Для первой нечеткой модели данные по информативности были получены с помощью определения рангов методом интеллектуального анализа данных и экспертной оценки, где 1 наибольший ранг, а 5 - наименьший. Получив различными методами ранги по каждому показателю, определяется итоговый ранг - информативность, путем расчета среднего значения. В случае если среднее значение по показателям одинаковое, итоговое решение по установлению информативности принимается экспертом. После определения итоговой информативности формируется начальная база правил путем сочетания условной и заключительной части. При этом вероятность наличия заболевания увеличивается при отклонении от нормы параметров с высокой информативностью. Слабо информативные показатели являются дополняющими, и могут повлиять на уровень вероятности наличия заболевания, лишь в случае однонаправленного движения показаний с информативными.

На рисунке 4 представлено дерево решений и цветом показана траектория, по которой эксперт двигался при формировании уникального нечеткого правила «Если бактерии отсутствуют, осадок присутствует, соли присутствуют, цвет соломенный и прозрачность мутная, то возможность наличия заболевания высокая». Дерево решений позволяет явно проследить зависимость между четырьмя атрибутами, пятый в правило был добавлен экспертом.

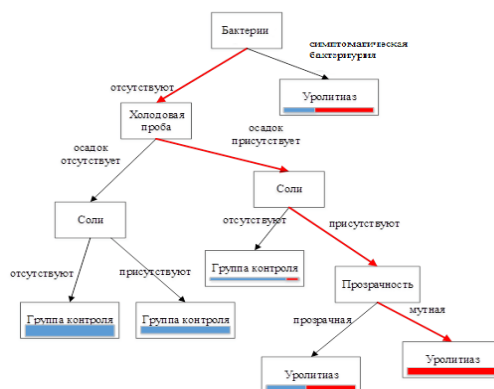


Рис. 4 – Дерево решений для формирования уникальных правил первой нечеткой модели

Для второй и третьей нечеткой модели при определении информативности были проанализированы ранги, полученные не только с помощью экспертной оценки и интеллектуального анализа, а также ранги, установленные с помощью статистических методов обработки данных. Для данных с нормальным распределением использовался критерий Стьюдента, при распределении отличным от нормального – Манна-Уитни. А также для всех исходных данных был рассчитан размер эффекта по Коэну, где 1 наибольший ранг, а 6 – наименьший. Получив тремя различными методами ранги по каждому показателю, определяется итоговый ранг - информативность, путем расчета среднего значения. В случае если среднее значение по показателям одинаковое, итоговое решение по установлению информативности принимается экспертом.

На рисунке 5 представлено дерево решений и цветом отмечена траектория, по которой эксперт двигался при формировании уникального нечеткого правила «Если цитраты ниже нормы, оксалаты выше нормы, альбумин в крови в норме, калий в моче в норме, СРБ выше нормы и белок в норме, то возможность наличия заболевания высокая». Дерево решений позволяет явно проследить зависимость между четырьмя атрибутами, пятый и шестой в правило был добавлен экспертом. На рисунке 6 представлено дерево решений, по которому строилось уникальное нечеткое правило «Если фосфор неорганический в норме, экскреция титруемых аминокислот ниже нормы, кальций ионизированный ниже нормы, Ph ниже нормы, осмолярность мочи в норме и относительная плотность в норме, то возможность наличия заболевания высокая».



Рис. 5 – Дерево решений для формирования уникальных правил второй нечеткой модели



Рис. 6 – Дерево решений для формирования уникальных правил третьей нечеткой модели

Все переменные были фазифицированы, для каждой лингвистической переменной было задано имя, терм-множество, универсальное множество, а также построены функции и графики принадлежности. Произведен переход от явной формулировки нечетких правил до их символического представления. Определен метод дефазификации.

В модуле проверки наличия различий между группами было определено р-значение Манна-Уитни, а также размер эффекта по Коэну для каждого коэффициент уверенности наличия уrolитиаза

Новые атрибуты были проверены на нормальность распределения критерием Колмогорова-Смирновой с поправкой Лиллиефорса. По каждому атрибуту было получено два р-значения, один по группе больные уrolитиазом и другой по группе контроля. Итоговая согласованность распределения определялась путем сравнения р-значений критериев с пороговым 0,05, а также определением размера эффекта по Коэну.

Результаты проверки согласованности распределения с нормальным представлены в таблице 1

Таблица 1 – Проверка на нормальность распределения

Группа	Нечеткий выход №1	Нечеткий выход №2	Нечеткий выход №3
Группа уrolитиаз	<0,001	<10-5	<10-8
Группа контроля	<10-4	<10-5	<10-8

Так как в таблице 1, все данные имеют распределение отличное от нормального, следовательно, используя непараметрический критерий Манна-Уитни определено Р -значение (таблица 2).

Таблица 2 – Р-значение согласно критерию Манна-Уитни и размер эффекта по Коэну

Группа	Манна-Уитни р	Размер эффекта
Коэффициент уверенности наличия уrolитиаза №1	0,0003587	0,826
Коэффициент уверенности наличия уrolитиаза №2	0,004237	0,734
Коэффициент уверенности наличия уrolитиаза №3	0,5254	0,421

Из таблицы 2 видно, что первые два коэффициента уверенности статистически значимо разделяют выборку на группу контроля и группу больных уrolитиазом. Третий коэффициент таких результатов не показывает. Добавление нового атрибута, у которого статистически не различаются группы в выборке, не может повлиять на положительную динамику роста уровня точности работы СППР. Возможно, использование разработанной методики на количественных данных с низким рангом нецелесообразно. Данную теорию окончательно подтвердим после проверки третьего атрибута в подсистеме формирования предполагаемого диагноза.

Созданная подсистема формирования предполагаемого диагноза состоит из двух модулей:

1. Модуль генерации подмножеств выборок атрибутов
2. Модуль определения точности предполагаемого диагноза

Для определения эффективности работы СППР и фиксации изменений уровня точности до добавления сконструированного атрибута и после, в модуль определения точности предполагаемого диагноза необходимо подавать разные подвыборки. Для решения данной задачи было определено и сформулировано количество наборов данных, и их содержательная часть. Разработана схема составных частей восьми наборов данных.

В модуле классификации построено пять классификаторов, такие как: опорные вектора; наивный байесовский классификатор; k-ближайших соседей; деревьев решений; многослойные нейронные сети персептрона.

Раскрыты этапы решения задачи классификации и разработана схема модуля определения точности предполагаемого диагноза. Сформирован перечень показателей, по которым будет определяться эффективность работы СППР. В результате работы каждого из классификаторов становится

известна точность согласно кросс-валидации, а также будет определена чувствительность, специфичность, предсказательная способность положительных и отрицательных результатов (PPV, NPV).

При использовании кросс-валидации исходная выборка разделяется на тестовую и обучающую. Тестовая выборка не участвует в обучении, но так как результаты по классам у этих данных присутствуют, при проведении тестирования классификатора можно определить точность кросс-валидации.

Пусть  $X$  — множество результатов анализов пациентов, а  $Y$  — присутствие или отсутствие уrolитиаза. Тогда обучающей выборкой будет

$$T^l = (x_i, y_i)_{i=1}^l, x_i \in X, y_i \in Y$$

Данную выборку разбили на  $k$  непересекающихся, которые одинаковы по размеру. Число итераций равно  $k$ . Итерация состоит из двух этапов. На первом модель проходит обучение на  $k-1$  части выборки. Во время второго этапа происходит тестирование на данных, на которых не проходило обучение.  $K$ -часть только однажды применяется во время тестирования.

$$T^l = F_1 \cup \dots \cup F_k, |F_i| \approx \frac{l}{k}, CV_k = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k Q(\mu(T^l \setminus F_i), F_i) \rightarrow \min,$$

где  $Q$  выступает в качестве меры качества,  $A$  — в качестве модели,  $\mu: (X \times Y)^l \rightarrow A$  — алгоритма обучения.

Для расчета чувствительности использовалась таблица точности построенная на основе процесса кросс-валидации

Введем переменную  $D$  отражающую диагнозы, которые были указаны в исходной выборке, тогда  $D+$  будет отражать присутствие уrolитиаза по данным исходной выборки, а  $D-$  отсутствие уrolитиаза (группа контроля) по данным исходной выборки

Введем переменную  $K$  отражающую диагнозы, которые были определены в результате решения задачи классификации, тогда  $K+$  будет отражать присутствие уrolитиаза по данным классификатора, а  $K-$  отсутствие уrolитиаза (группа контроля) по данным классификатора. Распознавательная и предсказательная способность — это условные вероятности и функции от них.

Чувствительность будет отражать вероятность наличия уrolитиаза у пациентов с наличием данного заболевания и определяться по следующей формуле:  $P(K+|D+) = P(K+, D+)/[P(D+)]$ .

Специфичность будет отражать вероятность наличия уrolитиаза у пациентов с наличием данного заболевания и определяться по следующей формуле:  $P(K-|D-) = P(K-, D-)/[P(D-)]$ .

Предсказательная способность положительных результатов (PPV) отражает вероятность наличия уrolитиаза у пациентов с наличием данного заболевания и определяется по следующей формуле:

$$P(D+|K+) = P(K+, D+)/[P(K+)]$$

Предсказательная способность отрицательных результатов (NPV) отражает вероятность отсутствия уrolитиаза у пациентов с отсутствием данного заболевания и определяется по следующей формуле:

$$P(D-|K-) = P(K-, D-)/[P(K-)]$$

Определено, на каких исходных данных нецелесообразно использовать разработанную методику конструирования новых атрибутов. После проверки коэффициента уверенности №3 в подсистеме формирования предполагаемого диагноза, принято окончательное решение изъять его из структуры СППР, так как данный атрибут не влияет на повышение точности.

Разработана итоговая схема взаимосвязей между подсистемами формирования предполагаемого диагноза и конструирования новых атрибутов (рисунок 7).



Рисунок 7 – Схема взаимосвязей между подсистемами формирования предполагаемого диагноза и конструирования новых атрибутов.

**Четвертая глава** раскрывает программно-алгоритмическое обеспечение СППР врача-уролога. Представлены результаты экспериментальной апробации, раскрыта эффективность применения СППР врача-уролога при диагностике уrolитиаза.

Разработана база данных СППР врача-уролога. Она содержит информацию о врачах, их квалификацию, должность, ученое звание, степень, опыт работы, а также данные о пациентах, их анамнезе, диагнозах, плане лечения, назначенных лекарственных препаратах, результатах клинических исследований. Представлено алгоритмическое обеспечение системы поддержки принятия решений врача-уролога в режимах «Администратор», «Врач-уролог», «Регистратура», «КЛД». Представлены такие экранные формы базы данных как: главная форма АРМ врача-уролога, формы «Прием», «Результаты коэффициентов уверенности наличия уrolитиаза», «Результаты клинических исследований», «Результаты лабораторной диагностики» (рисунок 8). Представлены автоматизированные рабочие места и алгоритмическое обеспечение врача-уролога, сотрудника КЛД, сотрудника регистратуры, администратора БД

Разработанная СППР врача-уролога была апробирована в урологическом отделении №1 ФГБОУ ВО «Первого Санкт-Петербургского государственного медицинского университета имени академика И.П. Павлова». Выборка для апробации результатов состояла из двух групп. Первая - группа контроля, включала в себя результаты анализов 52 здоровых человек (27 женщин, 25 мужчин). Вторая из 55 человек больных уrolитиазом (31 женщина, 24 мужчины). Обе группы сопоставимы по возрасту и полу.

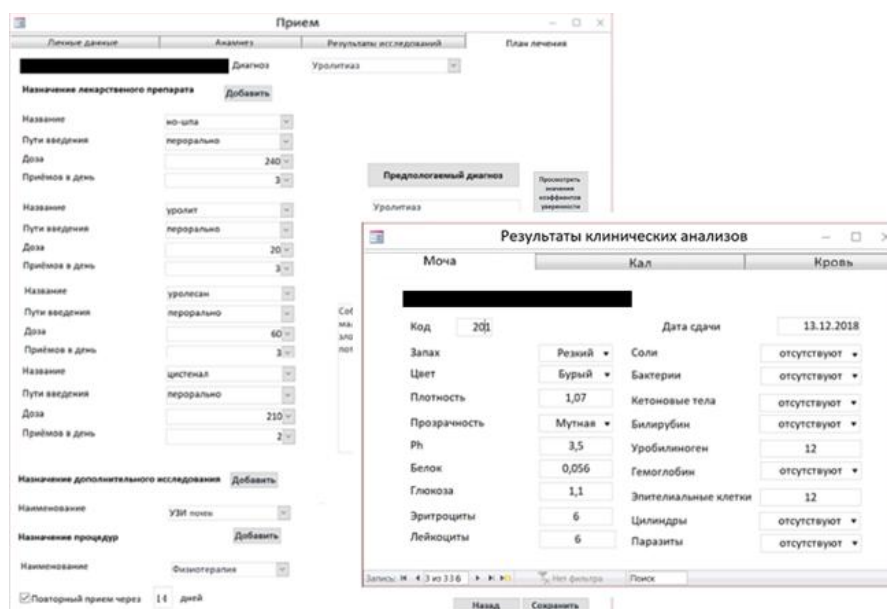


Рисунок 8 – Экранные формы СППР врача-уролога

Применение СППР врача-уролога приводит к увеличению результатов точности согласно кросс-валидации на 10,27%, чувствительности на 10,90%, специфичности на 9,60%, предсказательной способности положительных результатов на 9,40% и предсказательной способности отрицательных результатов на 10,20%. А разработанная методика увеличения точности СППР, повышает точность предполагаемого диагноза согласно кросс-валидации на 4,69%, чувствительности на 3,5%, специфичности на 5,6%, предсказательной способности положительных результатов на 4,9% и предсказательной способности отрицательных результатов на 4,1% (таблица 3).

Таблица 3– Результаты апробации СППР врача-уролога

Показатель	Врачи-урологи	СППР без КУ	СППР с КУ №1	СППР с КУ №2	СППР с КУ №1 и №2
Точность	70,1	75,68	78,48	77,55	80,37
Чувствительность	0,68	0,754	0,789	0,772	0,789
Специфичность	0,7	0,741	0,759	0,759	0,796
Предсказательная способность положительных результатов	0,71	0,754	0,776	0,772	0,804
Предсказательная способность отрицательных результатов	0,68	0,741	0,774	0,759	0,782

### Заключение

**В заключении** описаны основные результаты исследования.

1. Определено место СППР врача-уролога в биотехнической системе диагностики уролитиаза.

2. Разработан обобщенный алгоритм работы врача-уролога при диагностике уролитиаза.

3. Разработана методика формирования набора информативных показателей для диагностики уролитиаза, используя результаты общего и биохимического анализа мочи и крови. На основе разработанной методики



сформирован набор информативных показателей, которые используются при диагностике уролитиаза.

4. Разработана методика повышения точности СППР для диагностики уролитиаза, в которой совместно используются методы интеллектуального, статистического анализа данных, нечеткой логики и привлечения экспертного мнения.

5. Разработана методика конструирования нового атрибута с применением нечеткой логики, интеллектуального и статистического анализа данных и привлечения мнения эксперта.

6. Разработана методика создания базы нечетких правил, которая используется при диагностике уролитиаза, с применением статистического, интеллектуального анализа данных и привлечения мнения эксперта. На основе разработанной методики сформированы 96 нечетких правил для первой нечеткой модели 62 для второй, 63 для третьей нечеткой модели.

7. Разработана структура СППР врача-уролога для диагностики уролитиаза, которая состоит из следующих подсистем: «Подсистема хранения данных», «Подсистема предобработки данных», «Подсистема конструирования нового атрибута», «Подсистема формирования предполагаемого диагноза».

8. Созданы три нечеткие модели, функции и графики принадлежности, терм-множества для семнадцати входных и трех выходных переменных.

9. Сформированы три новых атрибута: коэффициент уверенности наличия уролитиаза №1, созданный на качественных данных, коэффициент уверенности наличия уролитиаза №2, созданный на количественных данных высокого ранга, коэффициент уверенности наличия уролитиаза №3, созданный на количественных данных не высокого ранга.

10. Проведена экспериментальная апробация СППР врача-уролога.

## **СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

### **Статьи в изданиях, рекомендуемых ВАК**

1. Омирова, Н. И., Система поддержки принятия решений врача уролога в биотехнической системе диагностики мочекаменной болезни /Н.И. Омирова, А.В. Тишков // Биотехносфера. - 2020. - № 5(65). - С. 43-47.

2. Омирова, Н. И. Эффективность применения нечеткой логики при диагностике мочекаменной болезни на количественных данных /Н.И. Омирова // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. - 2020. - Т. 19. № 1. - С. 97-102.

3. Омирова, Н.И. Создание базы нечетких правил для диагностики уролитиаза, с применением методов интеллектуального, статистического анализа данных и привлечением мнения эксперта / Н.И. Омирова// Медицина и высокие технологии – 2019. - № 3. С.98-110

4. Омирова, Н. И., Конструирование атрибутов с применением нечеткого вывода при диагностике уролитиаза / Н.И. Омирова, А.В. Тишков // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ» - 2017.- № 3. – С. 47-53

5. Омирова, Н. И. Композиция деревьев решений для распознавания степени тяжести хронической обструктивной болезни легких. / Н. И. Омирова , М. Н. Палей, Е.В. Евсюкова, А.В Тишков // Информационно-управляющие системы - 2014. - № 5(72) - с.115-118

6. Эюбова, Н.И. Методы классификации в диагностике уролитиаза с применением нечеткой логики для предобработки данных / Н.И. Эюбова // Информационно-управляющие системы. - 2013. - №6 (67). – С. 85-90.

### **Свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ**

7. Омирова Н.И., Тишков А.В. Нечеткая модель для расчета коэффициента уверенности наличия мочекаменной болезни на основе качественных данных. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2020612274 от 19.02.2020

8. Омирова Н.И., Тишков А.В. Нечеткая модель для расчета коэффициента уверенности наличия мочекаменной болезни на основе количественных данных. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2020612275 от 19.02.2020

### **Публикации в других журналах и научных сборниках**

9. Омирова Н.И., Тишков А.В. Подсистема определения точности, распознавательной и предсказательной способности в системе поддержки принятия решений врача уролога для диагностики уrolитиаза / Омирова Н.И., Тишков А.В. // Сборник трудов Международной конференции «Региональная информатика и информационная безопасность» – Санкт-Петербург, 2020. – С. 32 – 35.

10. Омирова Н.И. Методика создания нечетких правил для диагностики уrolитиаза / Омирова Н.И. // Сборник трудов Международной конференции «Региональная информатика и информационная безопасность» – Санкт-Петербург, 2018. – С. 386 – 287.

11. Омирова Н.И. Применение нечеткой логики для конструирования атрибутов на основе медицинских данных различного типа / Омирова Н.И. // Приложение к материалам конгресса XIII Международного конгресса «КАРДИОСТИМ» – Санкт-Петербург, 15-17 февраля 2018. – С.198.

12. Эюбова Н.И., Многомерный анализ в задаче диагностики заболевания мочекаменной болезни / Эюбова Н.И., Тишков А.В. // Материалы конференции XII Санкт-Петербургская международная конференция Региональная информатика "РИ-2010" – Санкт-Петербург, 20-22 октября 2010. – С. 291 – 293.

13. Эюбова Н.И., Информативность комплексной оценки биофизических, биохимических и микробиологических факторов литогенности мочи у больных мочекаменной болезнью / Эмануэль В.Л., Эмануэль Ю.В., Чухловин А.Б., Ланда С.Б., Тишков А.В., Эюбова Н.И.//Сборник научных трудов IV международного научного конгресса Нейробиотелеком 2010 – Санкт-Петербург, 7–10 декабря 2010. – С. 167 – 171.



Омирова Наргиз Идаят кызы  
СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ВРАЧА-УРОЛОГА  
ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ УРОЛИТИАЗА

Формат 60×90/16, Усл. печ. л. 1

Цифровая печать. Тираж 100 экз.

Подписано в печать 22.04.2021. Заказ № А 263986

ИП Кузнецова А.И. ИНН 300102869430  
198255, Россия, г. Санкт-Петербург,  
проспект Ветеранов, дом 45, кв. 66

Отпечатано в КЦ «Петроградская»  
Россия, г. Санкт-Петербург,  
пр-кт Каменноостровский, д.42  
тел: 702-70-70