

На правах рукописи



КРОШИЛИН АЛЕКСАНДР ВИКТОРОВИЧ

**МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ
МЕДИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ
ДЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ
В СИСТЕМАХ МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

Специальность 05.11.17 – «Приборы, системы и изделия
медицинского назначения»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Рязань 2015

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Рязанский государственный радиотехнический университет»

Научный консультант: **Пылькин Александр Николаевич**,
доктор технических наук, профессор,
заслуженный работник высшей школы РФ,
заведующий кафедрой «Вычислительная и
прикладная математика» ФГБОУ ВПО
«Рязанский государственный радиотехнический
университет», г. Рязань

Официальные оппоненты: **Фролов Сергей Владимирович**,
доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Биомедицинская
техника» ФГБОУ ВПО «Тамбовский
государственный технический университет»,
г. Тамбов

Сушкова Людмила Тихоновна,
доктор технических наук, профессор,
заведующая кафедрой «Биомедицинские и
электронные средства и технологии» ФГБОУ
ВПО «Владимирский государственный
университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых»,
г. Владимир

Герашенко Сергей Иванович
доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Медицинская
кибернетика и информатика» ФГБОУ ВПО
«Пензенский государственный университет»,
г. Пенза

Ведущая организация: ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный
технический университет», г. Воронеж.

Защита диссертации состоится «18» марта 2016 г. в 12 ч 00 мин на
заседании диссертационного совета Д 212.211.04 в ФГБОУ ВПО «Рязанский
государственный радиотехнический университет» по адресу:
390005, г. Рязань, ул.Гагарина, 59/1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО «Рязан-
ский государственный радиотехнический университет» или на сайте
<http://www.rsreu.ru>

Автореферат разослан «__» января 2016 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
д-р техн. наук, доцент



Г.В. Овечкин

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Современные медицинские учреждения функционируют в эпоху динамически развивающихся технологических и информационных процессов, характеризующихся стремительными и широко-масштабными изменениями внешней среды, экономических и социальных отношений. Продуктивным инструментом исследования проблем в области управления и создания информационных систем медицинского назначения по данному направлению являются методы моделирования. Представление медико-технологических процессов в указанных системах в виде моделей является основой проектирования систем поддержки принятия медицинских решений (СППМР) и способствует повышению эффективности как принятия медицинских решений (ПМР), так и управления медицинским учреждением в целом. ПМР укрупненно можно разделить на два взаимосвязанных направления: работа с пациентами и административные мероприятия, в том числе и управление медицинскими материальными потоками (распределение лекарственных препаратов, медицинского оборудования, управление коечным фондом, медицинским персоналом, пищеблоком и др.)

В процессе работы с пациентом выделяют два этапа: диагностика заболевания и лечение выявленной патологии, которые сложно разделить, поскольку для установления первичного диагноза и назначения курса лечения необходимо осуществлять мониторинг медико-технологического процесса (МТП), то есть проводить проверку состояния здоровья пациента с целью повышения продуктивности процесса лечения и коррекции его при необходимости. При этом врач выступает в качестве лица, принимающего медицинское решение (ЛПМР), вырабатывает медицинское решение (МР) в условиях недостаточности и неопределенности исходных данных, опираясь на собственный опыт, знания и интуицию. Процесс ПМР характеризуется недостаточностью знаний и противоречивостью имеющейся информации, отсутствием возможности привлечения компетентных врачей-экспертов, ограниченностью временных ресурсов, неполнотой или неточностью информации о состоянии пациента. Отмеченные аспекты могут являться причинами врачебных ошибок, приводящих в дальнейшем к усугублению проблемной ситуации. Решение этой проблемы может быть найдено в развитии методологии проектирования интеллектуальных СППМР.

Степень разработанности темы. В общем случае задачи поддержки принятия медицинских решений (ППМР) в условиях неопределенности очень часто бывают слабоструктурированными или плохо формализованными. В связи с этим применение традиционных методов моделирования сложных систем является малоэффективным, что в свою очередь ведет к применению специально разработанных механизмов ППМР на основе нечетких множеств совместно с методами алгебры логики, семантических сетей и теории когнитивного анализа.

Значительный вклад в совершенствование **теории нечетких множеств** внесли: А.Н. Аверкин, А.В. Алексеев, А.Н. Борисов, Л.А. Заде, А. Кофман, А.Н. Мелехов, Д.А. Поспелов, Т.Л. Саати, Р. Ягер и др. Реализация алгоритмов нечеткого вывода освещена в работах Х. Ларсена, Е. Мамдани, Й. Цукамото.

Оптимальным механизмом для автоматизированного решения являются эффективная обработка статистической информации и комплексный анализ полученных данных средствами интеллектуального анализа с применением технологий нечетких множеств и нечеткой кластеризации. Основные принципы современной **теории кластеризации** базируются на работах Г. Болла, Р. Дженсена, Т. Кохонена, Г. Ланса, Г. Миллигана, Х. Фридмана и др. В работах Р.Н.

Дейва, Дж. М. Келлера и др. предлагаются алгоритмы нечеткой кластеризации.

В области построения СППМР целесообразно использовать: концепции построения автоматизированных систем медицинского назначения (СМН), теоретические принципы построения медицинских экспертных систем, моделей представления знаний, **семантических сетей, универсальных алгебр**, нечетких логик и применения теории выбора (В.М. Глушков, Д. Дюбуа, М.Л. Минский, А.О. Недосекин, Г.С. Поспелов, Э.В. Попов, А. Прад и др.).

Хранилища данных различных автоматизированных информационных систем, применяемых в медицинских учреждениях, позволяют накапливать информацию о материальных медицинских ресурсах, которые с успехом можно применять для качественного управления медицинскими материальными потоками в интеллектуальных СППР. В основу развития таких задач положено такое научное направление, как методология **когнитивного анализа**, в которой эффективным инструментом считаются когнитивные карты (А.К. Григорян, В.И. Максимов, С.В. Коврига, Б. Коско, А.А. Кулинич, А.Н. Райков, В.Б. Силов и др.), хорошо зарекомендовавшие себя в задачах анализа структуры модели системы учета материальных потоков и получения прогнозов ее развития.

В последние годы особое внимание уделяется развитию смешанных подходов к **построению интеллектуальных систем и систем медицинского назначения**, функционирующих в условиях неопределенности и реализующих комплексное применение разнообразных инструментов искусственного интеллекта, позволяющих разработать новую информационную технологию построения таких систем. Особая роль при таком подходе отводится знаниям, характеризующим предметную область (ПрО) в различных прикладных задачах (В.В. Круглов, А.В. Кузьмин, Ю.Н. Минаев, Д. Рутковская, А.А. Усков и др.).

В результате исследования известных методов, алгоритмов и моделей ППМР в условиях неопределенности и неполноты исходной информации, основанных на использовании инструментария теории нечетких множеств, был сделан вывод, что во многих случаях они не обеспечивают получение соответствующих требованиям решений ввиду малообоснованного выбора параметров моделирования, при этом нахождение адекватных решений из-за необходимости многократного выполнения реализаций используемых методов, алгоритмов и моделей с целью выбора наиболее оптимальных параметров сопровождается большими временными затратами.

Актуальность проблемы заключается в необходимости разработки интеллектуальных систем медицинского назначения на основе эффективных методов, алгоритмов и моделей ППМР в условиях неполноты и неопределенности исходных данных, позволяющих обеспечивать высокую адекватность и обоснованность принимаемых решений в условиях ограниченности временных ресурсов. Совокупное использование инструментария теории универсальных алгебр и семантических сетей, теории нечетких множеств и нечеткой логики, а также теории когнитивного анализа дает возможность создать качественно новые информационные системы медицинского назначения, позволяющие решать более широкий круг задач ППМР в условиях неполноты и неопределенности исходных данных и обеспечивать эффективность принимаемых решений (за счет повышения точности, объективности и адекватности).

Научный аспект сформулированной проблемы заключается в развитии теоретических основ информационного обеспечения обработки данных медико-технологического процесса в системах медицинского назначения для поддержки принятия медицинских решений на основе теории нечетких множеств, се-

мантических сетей и когнитивного анализа.

Практическая часть проблемы включает в себя алгоритмизацию, разработку специального программного обеспечения и его практическое применение в медико-технологическом процессе для поддержки принятия медицинских решений в системах медицинского назначения.

Цель диссертационной работы состоит в разработке методов и алгоритмов интеллектуализации процесса принятия медицинского решения в условиях неопределенности и неполноты исходных данных, направленного на реализацию современных медицинских технологий лечения заболевания человека и обеспечения лечебного процесса в системах медицинского назначения для повышения эффективности лечения.

Для достижения поставленной цели в работе **решаются** следующие задачи:

- создание методологии разработки систем медицинского назначения для комплексной автоматизации обработки данных медико-технологического процесса и интеллектуализации процесса принятия медицинских решений;
- информационное обеспечение ППМР при постановке первичного диагноза на основе автоматической классификации;
- разработка метода и алгоритма выбора варианта течения болезни на основе нечеткой кластеризации, которые позволяют в исследуемых данных медико-технологического процесса продуктивно выявлять кластеры;
- исследование и разработка подходов к созданию СППМР с применением теории семантических сетей на основе медицинских экспертных систем для обеспечения рекомендательной базы анализа проблемных ситуаций, возникающих при лечении пациента (схемы лечения пациента), и формирование сетевой архитектуры модели пациента и действий, производимых с ним;
- персонафицированное распределение лекарственных средств на основе универсальной нечеткой когнитивной карты, с помощью которой осуществляется ППМР по управлению медицинскими материальными потоками в динамике;
- формулирование принципа информационного обеспечения ППМР медико-технологического процесса в медицинских учреждениях в условиях неопределенности на основе теорий нечетких множеств, семантических сетей и когнитивного анализа;
- использование разработанных методов и алгоритмов для решения ряда медицинских прикладных задач ППМР в условиях неопределенности диагностики и лечения человека, которые рассматриваются как средства восстановления нарушенной поливариантной системы, представление которой возможно математической моделью.

Область исследования. Информационное обеспечение медико-технологического процесса профилактики и лечения человека в системах медицинского назначения. Принятие медицинских решений в трудноформализуемых предметных областях.

Объектом диссертационного исследования являются автоматизированные системы медицинского назначения (интеллектуальные СППМР), особенности технологии их функционирования в условиях неопределенности и неполноты априорной информации.

Предметом исследования являются:

- методы и алгоритмы обработки данных медико-технологического процесса на всех стадиях лечения пациента;
- модели ППМР с использованием интеллектуальных систем медицинского

назначения на основе нечеткого вывода;

- методы и алгоритмы нечеткой кластеризации многомерных объектов в условиях неполноты априорной информации медико-технологического процесса;
- модели развития медико-технологических процессов, базирующихся на семантических сетях с использованием теории нечетких множеств;
- методы и алгоритмы когнитивного анализа на базе нечетких когнитивных карт в задачах управления медицинскими материальными потоками.

Методы исследований. Методы, используемые в работе, в соответствии с принципами системного подхода объединяются для решения поставленных задач. Теоретические исследования проведены с применением методов теорий универсальных алгебр, семантических сетей, нечетких множеств, кластеризации, когнитивного анализа, когнитивных карт, принятия решений, нечеткой логики, вероятностей и математической статистики, системного и математического анализа, построения баз данных (БД) и информационных систем медицинского назначения. Экспериментальные исследования выполнены с использованием методов моделирования (математического и имитационного), технологий объектно-ориентированного и модульного программирования, технологий построения распределенных баз данных и многомерных кубов данных.

Научная новизна результатов работы

1 Обоснован модифицированный метод нечеткой кластеризации на основе нечеткого отношения равнозначности, порождаемого свойствами исследуемых данных медико-технологического процесса, и без использования дополнительных сведений о кластерах, который не зависит от формы кластеров, при котором оценивается качество каждого разбиения и выбирается наилучшее из них.

2 Предложен алгоритм выбора варианта течения болезни, позволяющий при реализации модифицированного метода нечеткой кластеризации: выявлять в исследуемых данных медико-технологического процесса кластеры произвольной формы; осуществлять отбор наилучшего решения задачи кластеризации с применением нечеткого отношения равнозначности и специально разработанного критерия (нечеткой оценочной функции разбиения); использовать понятие мощного кластера, что позволяет повысить точность выбора на 8-19 %.

3 Разработана концепция выработки возможных альтернатив рекомендаций по принятию медицинских решений при профилактике и лечении заболеваний человека на базе анализа ситуаций медико-технологического процесса, в основу которой положены: гипотеза о подобии (получение ситуаций и рекомендаций, в которых понятийные пространства наиболее близки понятиям, описывающим проблемную ситуацию); методика построения модели предметной области с использованием семантической сети для рекомендательной медицинской базы знаний; нечеткие множества, определенные для приблизительных рассуждений и обработки неопределенности при создании медицинской модели знаний; алгоритм расчета веса ключевого понятия в рекомендации; методика получения рекомендации из базы знаний согласно ключевым понятиям проблемной ситуации.

4 Предложен метод выбора методики лечения пациента, для которого построены сетевая архитектура модели пациента для системы медицинского назначения и модель действий, производимых с пациентом, которые позволяют проводить анализ ситуации медико-технологического процесса на базе оценочной функции и использования критериальных механизмов выбора, дающих возможность находить наиболее релевантные наборы действий и осуществлять их ранжирование по степени значимости, и который позволяет увеличить дос-

товерность выбора до 93 %.

5 Предложена универсальная нечеткая когнитивная карта для динамического моделирования медико-технологических процессов, в которой теория нечетких множеств используется как при анализе структуры, где нечеткими являются концепты и связи между концептами, отражающие тип распространения влияния концепта на концепт, так и при ее построении, использующим механизмы накапливания влияния группы концептов на конкретный концепт.

6 Разработан алгоритм обучения когнитивной карты, позволяющий повысить точность построения и адекватность моделируемых медицинских предметных областей за счет учета накопленной медицинской статистической информации о состояниях медико-технологических процессов в определенные моменты времени и использующий аналитические показатели устойчивости когнитивной карты (системные показатели модели), рассчитываемые на основе значений нечеткой транзитивно-замкнутой матрицы влияний концепта на концепт и ориентированные на решение задач поддержки принятия решения в управлении медицинскими материальными потоками.

7 Разработана модель динамики для когнитивной карты, которая дает возможность проводить: анализ поведения сложных систем медицинского назначения, учитывая нелинейный характер влияния концепта на концепт в корреляции от нечеткого состояния концепта на входе и концепта на выходе; одновременный учет влияния значений изменений концептов и значений их состояний, нелинейного характера влияния изменений концептов; одновременный учет влияния концептов разных знаков друг на друга.

8 Предложен способ построения модели предметной области на основе разработанной универсальной нечеткой когнитивной карты, с помощью которой решена задача персонифицированного распределения лекарственных средств (с эффективностью до 96 %).

9 Предложен метод реализации систем медицинского назначения для оптимизации и обработки информационных данных, получаемых в медико-технологическом процессе, а также интеллектуализации принятия медицинских решений в условиях неопределенности, на основе теорий нечетких множеств, семантических сетей и когнитивного анализа, позволяющий повысить эффективность лечения пациентов на 3-12 %.

Достоверность научных положений, теоретических выводов и практических результатов диссертационной работы подтверждается:

- соответствием результатов: моделирования медико-технологического процесса (имитационного и математического); объектно-ориентированного и модульного программирования; построения медицинских баз знаний и многомерных кубов данных; работы предложенных моделей, методов и алгоритмов □ данным экспериментальных исследований;

- корректным использованием выводов и подходов теорий нечеткой логики и нечетких множеств, нечеткой кластеризации многомерных объектов модели медицинской ПрО в условиях недостаточности и неопределенности данных, прогнозирования медико-технологических процессов на базе семантических сетей, когнитивного анализа с использованием нечетких когнитивных карт;

- использованием разработанных методов, алгоритмов и моделей в системах медицинского назначения для решения реальных прикладных задач;

- технологической реализацией информационных систем и отдельных их элементов, подтвержденной свидетельствами об официальной регистрации;

- использованием результатов диссертационной работы в медицинской прак-

тике, подтвержденных актами внедрения.

Практическая значимость работы подтверждается разработанными методами, алгоритмами и моделями, реализованными в программных продуктах для ЭВМ, с помощью которых осуществлены комплексная автоматизация обработки данных медико-технологического процесса и интеллектуализация процесса принятия медицинских решений, в том числе задачи контроля, мониторинга, учета оперативной информации и автоматизации информационных МТП в медицинских учреждениях; определение группы объектов (пациентов, диагнозов, групп заболеваемости, методов лечения и пр.) с помощью методов нечеткой кластеризации. Появляется возможность осуществлять эффективную терапию, составлять отчеты, графики и документы на основе динамически изменяющейся информации; собирать необходимую информацию с различных носителей по анамнезу пациента; формировать предложения по выработке медицинских решений (представление ПрО с помощью семантической сети), направленных на повышение эффективности проводимых мероприятий; осуществлять адекватную поддержку в принятии решений на основе данных медицинского контроля, статистических данных, истории болезни. Также решать задачи планирования и изменения курса лечения, необходимого для повышения эффективности лечения пациентов; управления медицинскими материальными потоками (разработанная УНКК) - распределение лекарственных препаратов; подготовки регламентированной отчетности по деятельности медицинского учреждения на основе накопленных данных.

Теоретическая значимость работы заключается в развитии теории, методов и алгоритмов обработки данных медико-технологических процессов для интеллектуальной поддержки принятия решений в системах медицинского назначения в условиях неопределенности, а также развитии теории проектирования интеллектуальных систем поддержки принятия медицинских решений.

Реализация и внедрение результатов диссертационной работы.

Работа над диссертацией выполнялась в рамках целевой программы: Территориальная программа «Неотложные меры борьбы с туберкулезом в Рязанской области на 1998-2000 годы» согласно Приказу Минздрава Российской Федерации «О создании Государственной системы эпидемиологического мониторинга туберкулеза» № 193 от 03.07.1997. Исследования по тематике диссертационной работы велись в рамках: госбюджетной НИР 7-09Г «Разработка математических методов и алгоритмов передачи и обработки цифровой информации для поддержки интеллектуальных систем управления» (2009-2011 гг.); госбюджетной НИР 11-12Г «Разработка математических моделей, методов и алгоритмов обработки больших объемов информации в сложно организованных системах искусственного интеллекта» (2012-2013 гг.); госбюджетной НИР 14-01-97500 «Разработка интеллектуальной аналитической системы оценки состояния здоровья пациентов на основе нечеткой логики для медицинских учреждений с применением прогрессивных технологий, обеспечивающих инновационное развитие медицины и социальной сферы» (2014-2015 гг.).

Методы, модели и алгоритмы, разработанные в диссертационной работе, а также реализующие их автоматизированные информационные системы внедрены в следующих учреждениях и организациях.

1 Интеллектуальная аналитическая система мониторинга пациентов на основе нечеткой кластеризации для медицинских учреждений «Диспансер» внедрена и используется в Государственном учреждении здравоохранения «Рязанский областной клинический противотуберкулезный диспансер», г. Рязань (акт

внедрения от 20.03.2010).

2 Система поддержки принятия решений на основе нечеткой логики «Stacionar» внедрена и используется в Государственном бюджетном учреждении Рязанской области «Областной клинический кожно-венерологический диспансер», г. Рязань (акт внедрения от 01.12.2011) и в Государственном бюджетном учреждении Рязанской области «Захаровская центральная районная больница», с. Захарово (акт внедрения от 25.05.2012).

3 Автоматизированная информационная система медицинского учреждения «Эксперт» поддержки принятия решений на основе нечеткой логики внедрена и используется в Государственном казенном учреждении здравоохранения «Рязанская областная клиническая психиатрическая больница им. Н.Н. Баженова», г. Рязань (акт внедрения от 21.11.2012) и Государственном бюджетном учреждении Рязанской области «Спасская центральная районная больница», г.Спасск (акт внедрения от 11.06.2013).

4 Система поддержки принятия решений на основе нечеткой логики «Эксперт 3. Построение модели предметной области и модели прогнозирования» внедрена и используется в Государственном казенном учреждении здравоохранения Тверской области «Тверской областной клинический противотуберкулезный диспансер», г. Тверь (акт внедрения от 22.05.15).

5 Система поддержки принятия решений на основе технологий когнитивного анализа «ALFAVIT» внедрена и используется в городской сети аптек ООО «Аптека № 181», г. Рязань (акт внедрения от 12.06.2011) и в областной сети аптек ООО «Алфавит-Здоровье», г. Рыбное (акт внедрения от 02.02.2010).

6 Программный комплекс интеллектуального управления товарными запасами на основе нечеткого когнитивного анализа «Alf-Zdr. Товарный запас» внедрен и используется в региональной сети аптек ООО «Ригла», г. Москва (акт внедрения от 18.10.2011).

7 Результаты полученных в диссертации теоретических, прикладных и экспериментальных исследований используются в учебном процессе ФГБОУ ВПО «РГРТУ» при обучении студентов по специальностям: 230105 «Программное обеспечение вычислительной техники и автоматизированных систем», 230201 «Информационные системы и технологии»; по направлениям: 231000 «Программная инженерия», 230700 «Прикладная информатика», 230400 «Информационные системы и технологии» (акт внедрения от 20.05.2014).

Использование результатов диссертационной работы на практике подтверждено соответствующими актами о внедрении. Получено 7 свидетельств ФГБУ «Федеральный институт промышленной собственности» (РОСПАТЕНТ) об официальной регистрации программ для ЭВМ и БД.

Содержание диссертации **соответствует паспорту специальности:** 05.11.17 «Приборы, системы и изделия медицинского назначения» (п. 2).

Основные положения, выносимые на защиту

1 Модификация метода нечеткой кластеризации и алгоритм выбора варианта течения болезни, позволяющие в исследуемых данных медико-технологического процесса продуктивно выявлять кластеры произвольной формы, что повышает точность выбора на 8-19 %.

2 Метод выбора методики лечения пациента, для чего построены сетевая архитектура модели пациента и модель действий, производимых с пациентом, позволяющие проводить анализ ситуации медико-технологического процесса на базе оценочной функции и использования критериальных механизмов выбора, который увеличивает достоверность выбора до 93 %.

3 Универсальная нечеткая когнитивная карта (УНКК), алгоритм обучения когнитивной карты, модель динамики, дающая возможность анализировать поведение сложных систем медицинского назначения, а также способ построения модели медицинской предметной области на основе УНКК, с помощью которой решена задача персонифицированного распределения лекарственных средств (с эффективностью до 96 %).

4 Метод реализации систем медицинского назначения для оптимизации обработки информационных данных медико-технологических процессов и интеллектуализации принятия медицинских решений в условиях неопределенности на основе теорий нечетких множеств, семантических сетей и когнитивного анализа, позволяющий повысить эффективность лечения на 3-12 %.

Апробация работы. Основные теоретические положения и практические результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на следующих научных конференциях: XXIII Всероссийской НТК студентов, молодых ученых и специалистов «Биотехнические, медицинские и экологические системы и комплексы («Биомедсистемы-2010»))» (Рязань, 2010); Всероссийской НТК «Информационные и управленческие технологии в медицине и экологии» (Пенза, 2011); LXVI Всероссийской К «Научная сессия. Инфокоммуникационные технологии в здравоохранении» (Москва, 2011); XXIV Всероссийской НТК студентов, молодых ученых и специалистов «Биотехнические, медицинские и экологические системы и комплексы («Биомедсистемы-2011»))» (Рязань, 2011); XII Международной НПК «Методы и алгоритмы прикладной математики в технике, медицине и экономике» (Новочеркасск, 2012); Международной НК «Инновационные медицинские технологии» (Москва, 2012); XXV Всероссийской НТК студентов, молодых ученых и специалистов «Биотехнические, медицинские и экологические системы и комплексы («Биомедсистемы-2012»))» (Рязань, 2012); XXVIII Международной НК «Математические методы в технике и технологиях», секция 9: «Математические методы и задачи в медицине и биофизике» (Рязань, 2015); Международной НТК «Математические методы и информационные технологии в экономике, социологии и образовании» (Пенза, 2001); XVI Всероссийской НК молодых ученых и студентов «Реформы в России и проблемы управления» (Москва, 2001); VII, XIV-XVII, XX Всероссийских НТК молодых ученых и специалистов «Новые информационные технологии в научных исследованиях и в образовании» (Рязань, 2002, 2009-2012, 2015); XVI Международной НТК «Информационные системы и технологии (ИСТ-2010)» (Н.Новгород, 2010); X Международной НПК «Исследование, разработка и применение высоких технологий в промышленности» (Санкт-Петербург, 2010); Международной НПК профессорско-преподавательского состава «Социально-экономические проблемы общества в условиях кризисной экономики РФ» (Коломна, 2010); Международных форумах по проблемам науки, техники и образования «III тысячелетие – Новый мир» (Москва, 2010, 2012); Международной НПК «Стратегия управления: государство, бизнес, образование» (Рязань, 2010); XII Международной НТК «Измерение, контроль, информатизация» (Барнаул, 2011); Международной НТК «Актуальные проблемы науки» (Тамбов, 2011); Международной НПК «Инновации на основе информационных и коммуникационных технологий» (Сочи, 2011); Международной НПК «Инновационные информационные технологии» (Прага, 2012); Международной НПК «Общество, современная наука и образование: проблемы и перспективы» (Тамбов, 2012-2013); Международной НПК профессорско-преподавательского состава «Россия и мир: проблемы и перспективы инновационного развития» (Ко-

ломна, 2012); X-XVIII Международных НТК «Проблемы передачи и обработки информации в сетях и системах телекоммуникаций» (Рязань, 2001-2006, 2008, 2012, 2015); The IV International research and practice conference «European Science and Technology» (Munich – Germany, 2013); The XIX International open science conference «Modern informatization problems» (Yelm, WA, USA, 2014); The 2014 International conference on computer technologies in physical and engineering applications (Санкт-Петербург, 2014); 2-й Российско-Белорусской НТК «Элементная база отечественной радиоэлектроники: импортозамещение и применение», секция 8: «Микро- и радиоэлектроника в медицине» (Н.Новгород, 2015), The VIII International Academic Congress «Development of Countries in Asia, Africa and Europe: Past, Present and Future» (Republic of Korea, Seoul, 2015).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 92 печатных работы (17 – без соавторов), в том числе: 18 статей в изданиях, входящих в перечень ВАК для докторских диссертаций; монография; 29 статей в научно-технических журналах и межвузовских сборниках; 37 докладов на международных и всероссийских конференциях; 7 свидетельств о регистрации программ для ЭВМ в ФГБУ «Федеральный институт промышленной собственности» (РОСПАТЕНТ).

Личный вклад соискателя. Все результаты диссертационной работы, в том числе постановка задач, разработка и исследование защищаемых методов, моделей и алгоритмов, основные научные результаты, выводы и рекомендации, принадлежат автору лично. Автоматизированные информационные системы, реализующие разработанные методы, алгоритмы и модели, созданы непосредственно автором. Участие соавторов сводится к методическим консультациям и получению экспериментальных результатов по предложенным автором постановке задач и технологиям.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, библиографического списка из 219 наименований и 4 приложений. Диссертация содержит 298 страниц основного текста, в том числе 37 таблиц и 115 рисунков.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель и задачи исследования, определены направления исследования. Отражены научная новизна и практическая ценность диссертационной работы.

В первой главе раскрываются проблемы, связанные с принятием решений в медицинской сфере, которые можно разделить на две группы: принятие решений в медико-технологическом процессе; принятие управленческих решений при обеспечении медико-технологического процесса. Проведенный анализ позволил охарактеризовать специфику принятия медицинских решений, заключающуюся: в выборе лечения и дифференциальной диагностике в нозологических формах; эффективности принятия медицинских решений, не зависящих от клинических выражений болезни; анализе динамики развития патологического процесса с предположением возможных неблагоприятных ситуаций; учете сопутствующих заболеваний при подборе пациенту курса лечения; оценке состояния здоровья пациента с использованием данных, поступающих с мониторинго-приборных комплексов, и т.д.

Процесс ПМР характеризуется недостаточностью знаний и противоречивостью имеющейся информации, отсутствием возможности привлечения компетентных врачей-экспертов, ограниченностью временных ресурсов, неполнотой или неточностью информации о состоянии пациента. Отмеченные аспекты могут являться причинами врачебных ошибок, приводящих в дальнейшем к усугублению состояния пациента.

гублению проблемной ситуации.

Проведен анализ, показавший преимущества теории нечетких множеств для решения проблем поддержки принятия медицинских решений в условиях неопределенности. С учетом специфики медицинской ПрО существует необходимость в разработке методов и алгоритмов интеллектуализации ППМР, направленных на решение следующих задач: информационная поддержка при постановке диагноза (на основе теории классификации), выбор варианта течения болезни (на основе теории нечеткой кластеризации), выбор схемы лечения и оценка СЗП (на основе теории семантической сети), управление медицинским материальным потоком – персонифицированное распределение лекарственных средств (на основе теории когнитивного анализа).

Во второй главе показано, что результативный мониторинг медицинских данных достигается путем применения методов интеллектуального анализа, особое место в которых занимают методы классификации и кластеризации.

Задача классификации диагнозов осуществляется на основе фасетно-иерархического подхода. В классификации данных на основании значений переменных, которые характеризуют объект (диагноз), необходимо найти значение зависимой переменной. Предположим, что заданное множество объектов (исследуемых данных) ПрО конечно: $G = \{g_1, g_2, \dots, g_i, \dots, g_n\}$, где g_i – i -й объект ПрО; n – количество объектов ПрО, каждый из которых характеризуется некоторым набором атрибутов $g_i(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ik}, \dots, x_{im}, x_{im+1})$. Пусть известны значения m атрибутов объекта ПрО $g_i(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ik}, \dots, x_{im})$, тогда задача сводится к нахождению неизвестного атрибута x_{im+1} . Задача классификации в СППМР применима в вопросах постановки диагноза. В разработанной системе для каждого диагноза D_i имеется набор атрибутов $(d_{i1}, d_{i2}, \dots, d_{im})$, где m_i – количество атрибутов, описывающих i -й диагноз (рисунок 1). Для постановки диагноза в системе необходимо задать значение всех известных атрибутов, а система выдаст ранжированный список наиболее подходящих диагнозов, из которого врач выбирает предпочтительный вариант. Применение разработанной схемы постановки диагноза позволило увеличить точность постановки диагноза с 88 % (без использования схемы) до 93 % (использовалась статистика за 5 лет).



Рисунок 1 – Блок-схема процесса постановки диагноза на основе классификации

На основе нечеткой кластеризации решена задача определения варианта течения болезни с использованием анализа статистической информации, когда ничего неизвестно о внутренних зависимостях в данных. Элемент данных g (объект ПрО, описываемый вектором характеристик) представляет собой элемент m -мерного пространства: $g = (x_1, \dots, x_m)$. Атрибут (характеристика) x_i – числовая компонента вектора g . Размерность m – число характеристик объекта g . Множество объектов $G = \{g_1, g_2, \dots, g_n\}$ – массив входных данных, i -й объект из G определяется как $g_i = (x_{i1}, \dots, x_{im})$. Обычно G представляют матрицей характеристик X размерностью $n \times m$. Необходимо создать

множество кластеров K и отображение $E:G \rightarrow K$. Кластерную структуру представим выражением: $kl = \{g_j, g_p : g_j, g_p \in G, d(g_j, g_p) < \psi\}$, где $kl \in K$, kl – кластер из множества кластеров K , d_j – расстояние между j -м и p -м объектами – взвешенная метрика Евклида $d_{jp} = d(g_j, g_p) = \left(\sum_{z=1}^{|X|} w_z (g_{j,z} - g_{p,z})^2 \right)^{1/2}$, z -й переменной соответственно; w_z – вес z -й переменной в модели медицинской ПрО.

Таким образом, кластер состоит из объектов ПрО, находящихся в пространстве атрибутов рядом в смысле метрики d (оценочная функция), и ограничивается величиной ψ . Нечеткая кластеризация вычисляет каждому атрибуту x_i из ПрО степень его принадлежности u_{ij} к каждому из k кластеров, определяющуюся функцией принадлежности f_{ij} , которая показывает степень принадлежности x_i к кластеру kl_j . Для осуществления нечеткой кластеризации необходимо выполнить следующие действия:

1 Задать первоначальное нечеткое разбиение n объектов на k кластеров путем указания матрицы принадлежности U размерностью $n \times k$. Значение элементов u_{ij} матрицы находится в пределах $[0,1]$.

2 Используя элементы принадлежности матрицы U , вычислить критерий нечеткой ошибки: $E^2(X, U) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k u_{ij} \|x_i - c_j\|^2$, $c_j = \sum_{i=1}^n u_{ij} x_i$, где c_j – центр кластера kl_j .

3 Для уменьшения величины критерия нечеткой ошибки можно перегруппировывать объекты исходного множества, пока не будет получен результат, удовлетворяющий заданной погрешности.

4 Выполнять действия с пункта 2 до достижения незначительных (определенная величина Δu , задаваемая в настройках) изменений матрицы U .

Определены следующие понятия. *Нормальная мера подобия по расстоянию* $\mu_y(x)$ порождает близкие к u нечеткие множества точек: $\mu_y(x) = 1 - d(y, x) / \max_{z \in X} (d(y, z))$,

где $x, y, z \in X$; $d(y, x)$ – расстояние между y и x . При этом $\mu_y(x) = 0$, если атрибут максимально отличается от x , и $\mu_y(x) = 1$, если атрибут абсолютно подобен x для $x \in X$. Определим *относительную меру подобия двух атрибутов* по отношению к третьему атрибуту как $\tau_y(x, z)$: $\tau_y(x, z) = 1 - |\mu_y(x) - \mu_y(z)|$, где $x, y, z \in X$, а μ_y – нормальная мера подобия. В данном семействе каждое отношение является нечетким отношением. Через $\tau_y(x, z)$ можно определить *меру подобия на множестве X двух атрибутов* как: $\tau(x, z) = T(\tau_{y_1}(x, z), \tau_{y_2}(x, z), \dots, \tau_{y_{|X|}}(x, z))$, где $\tau_{y_i}(x, z)$ – относительная мера подобия, $y_i \in X$, $i = 1, \dots, |X|$, $x, z \in X$, T – операция t -норма. Используя связки t -нормы по Заде, меру подобия двух атрибутов на множестве X , получаем $\tau(x, z) = \min(\tau_{y_1}(x, z), \tau_{y_2}(x, z), \dots, \tau_{y_{|X|}}(x, z))$. Полученное выражение объективно отображает сходство атрибутов множества X , является *нечетким отношением*.

При вычислении транзитивного замыкания нечеткого отношения получается *нечеткое отношение равнозначности*. Определен ряд утверждений и положений. **Утверждение 1.** Задание уровня нечеткой равнозначности (УНР) порождает разбиение множества X на группы точно равнозначных элементов так, что каждый из атрибутов X принадлежит одной группе равнозначности. **Утверждение 2.** При транзитивном замыкании отношения нечеткой толерантности возникает отношение нечеткой равнозначности на множестве X . **Утверждение 3.** Операция объединения отношений нечеткой толерантности является отношением нечеткой толерантности. **Положение 1.** При определении отношения нечеткой толерантности U верно $U \subseteq U^2 \subseteq \dots \subseteq U^n \subseteq \dots$. **Положение 2.**

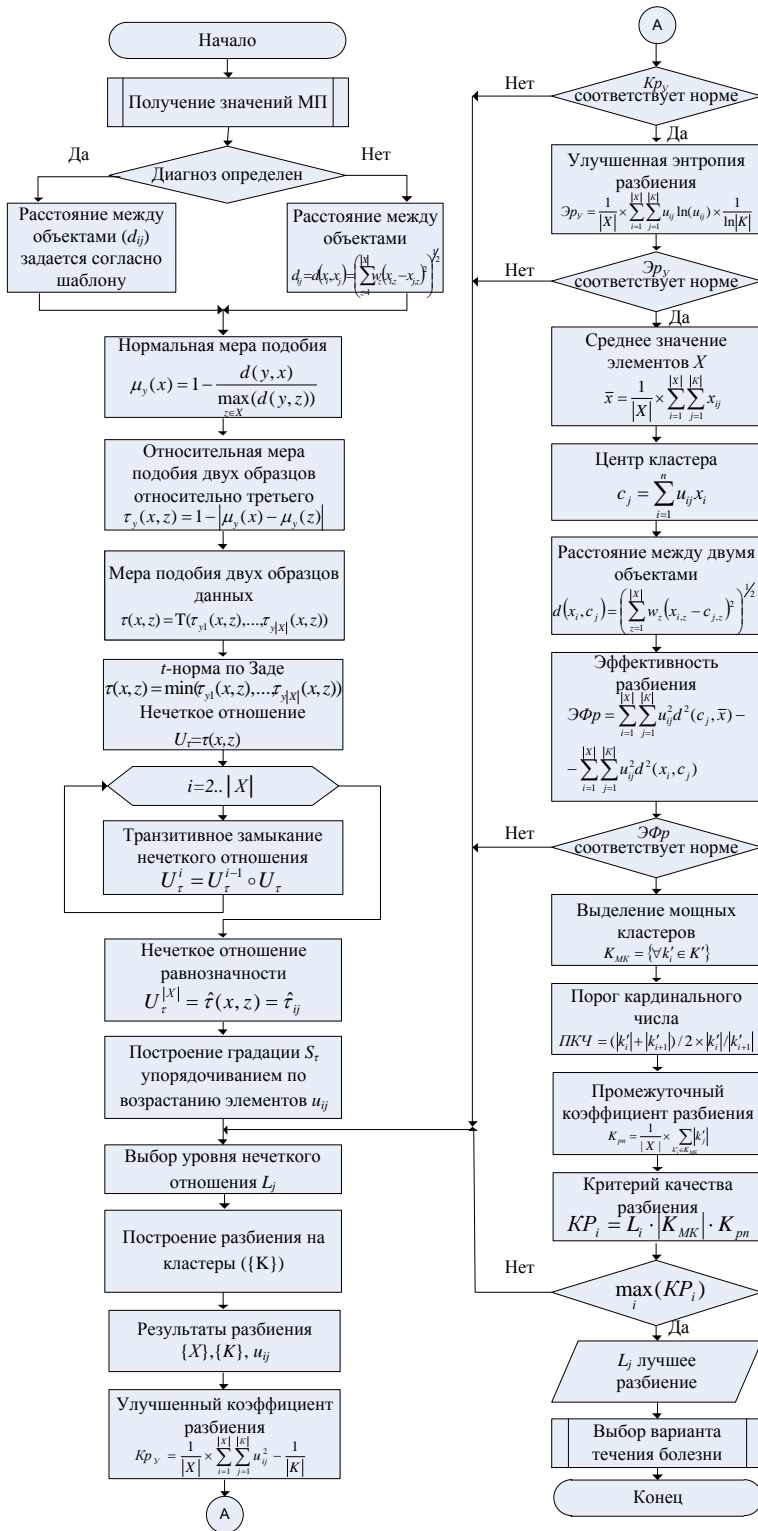


Рисунок 2 – Алгоритм модифицированного метода нечеткой кластеризации медицинских показателей при выборе варианта течения болезни

Коэффициенты критерия качества кластеризации

Улучшенный коэффициент разбиения	Улучшенная энтропия разбиения	Эффективность разбиения
$K_{py} = \frac{1}{ X } \times \sum_{i=1}^{ X } \sum_{j=1}^{ K } u_{ij}^2 - \frac{1}{ K }$	$\mathcal{E}_{py} = \frac{1}{ X } \times \sum_{i=1}^{ X } \sum_{j=1}^{ K } u_{ij} \ln(u_{ij}) \times \frac{1}{\ln K }$	$\mathcal{E}ФР = \sum_{i=1}^{ X } \sum_{j=1}^{ K } u_{ij}^2 d^{*2}(c_j, \bar{x}) - \sum_{i=1}^{ X } \sum_{j=1}^{ K } u_{ij}^2 d^{*2}(x_i, c_j)$

Рассчитываемое в качестве наименьшей верхней границы объединения отношений U^i на множестве X для отношения нечеткой толерантности U транзитивное замыкание U_τ равно отношению $U^{|X|}$. Разработан алгоритм нечеткой кластеризации, использующий нечеткое отношение равнозначности (рисунок 2). Градация отношения нечеткой равнозначности порождает семейство отношений равнозначности, которые разбивают на классы равнозначности исходное множество исследуемых исходных данных. Чем больше уровень отношения, тем более детально разбиение множества X . В главе были разработаны критерии качества кластеризации (см. таблицу). Набор мощных кластеров можно определить по формуле: $K_{MK} = \{v c'_i \in C'\}$, где c'_i – класс равнозначности такой, что $|c'_i| \geq ПКЧ$; C' – множество классов равнозначности, а $ПКЧ$ – порог кардинального числа, зависящий от настроек, устанавливается в зависимости от того, насколько качественно требуется построить разбиение. Промежуточный коэффициент разбиения K_{pm} может быть определен так:

$$K_{di} = \frac{1}{|X|} \times \sum_{c'_i \in K_{iE}} |n'_i|$$

где $|c'_i|$ – кардинальное число мощных кластеров; $|X|$ – общее кардинальное число множества. Критерий оценки качества разбиения использует понятия

уровня отношения равнозначности, мощных кластеров и промежуточного коэффициента разбиения: $KP_i = L_i \cdot |K_{MK}| \cdot K_{pn}$, где L_i – уровень нечеткой равнозначности, $|K_{MK}|$ – кардинальное число множества мощных кластеров, а разбиение считается наилучшим при $KP = \max_i (L_i \cdot |K_{MK}| \cdot K_{pn})$. Высокий L_i говорит о том, что внутри классов равнозначности находятся наиболее схожие объекты ПрО. При большом $|K_{MK}|$ достигается наилучшее качество разбиения. Чем выше коэффициент разбиения K_{pn} , тем больше объектов ПрО включено в результат окончательного разбиения.

С помощью представленной теории нечеткой кластеризации в разработанной СМН решается задача определения варианта течения болезни. В результате удалось увеличить точность выбора варианта течения болезни в среднем на 8-19 %, что положительно сказалось на определении схемы лечения.

Разработанная СППМР в своей структуре содержит экспертную систему (ЭС), основанную на разработанной гибридной схеме толкования оценки медицинского решения, использующую одновременно два подхода к построению базы знаний: 1) на основе теории искусственного интеллекта, для которой во врачебной практике преобладает дедуктивная компонента; 2) на основе эмпирических данных (ЭД), в основе методологии – общая теория систем (рисунок 3).

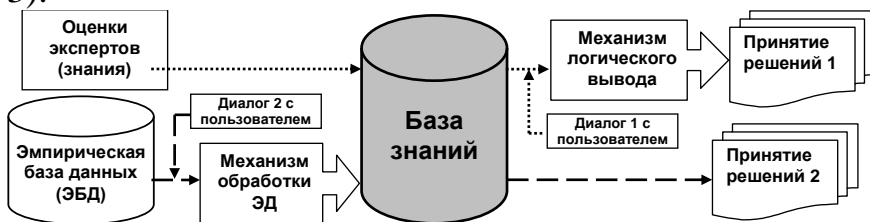


Рисунок 3 – Гибридная схема построения МЭС

Предложенная методика автоматизированного анализа состояния здоровья пациента (СЗП) основывается на шести предположениях (рисунок 4).

Предположение 1. Общей модели СЗП в разрабатываемой СППМР соответствует семантическая сеть: $S = \langle Gh, Uh \rangle$, где Gh – множество характеристик (физических, химических и микробиологических характеристик СЗП, состояния эпидемиологической ситуации в окружении пациента, условий лечения и т.д.); Uh – множество связей характеристик в модели.

Предположение 2. Лечение пациентов в МУ – возможность диагностики СЗП в соответствии со схемой определенной структуры, на базе решения набора задач: строится множество действий, которые выполняет врач для осуществления лечения пациента: $Mh = \{Mh_i\}$. Множество $Mh_i = \{Gh^i, W_i, Uh_{Mhi}\}$, где Gh^i – набор значений множества характеристик $Gh^i = \{Gh_r\}$; $Gh_r \subset Gh$, которые описывают как условия пребывания пациента, так и его текущее состояние (до и после лечения). Элементы Gh_r – результаты анализов, применяемые препараты и реакция пациента на них, уровень оборудования МУ, коэффициент физического состояния пациента и т.д.; W_i – рабочая гипотеза (оценка) о СЗП, построенная системой; Uh_{Mhi} – множество отношений между W_i и характеристиками Gh^i .

Предположение 3. По каждому пациенту формируется конкретная схема лечения (набор действий, ориентированных на выздоровление пациента и на улучшение показателей СЗП). Для построения общей модели СЗП Sh выделяется предопределенное множество действий O , произведенных с пациентом. При таком подходе курс лечения пациента $Ph_r = \{O_r\}$, где $O_r \in O$, $r = 1, \dots, Nd$, Nd – количество действий, производимых для осуществления медицинского

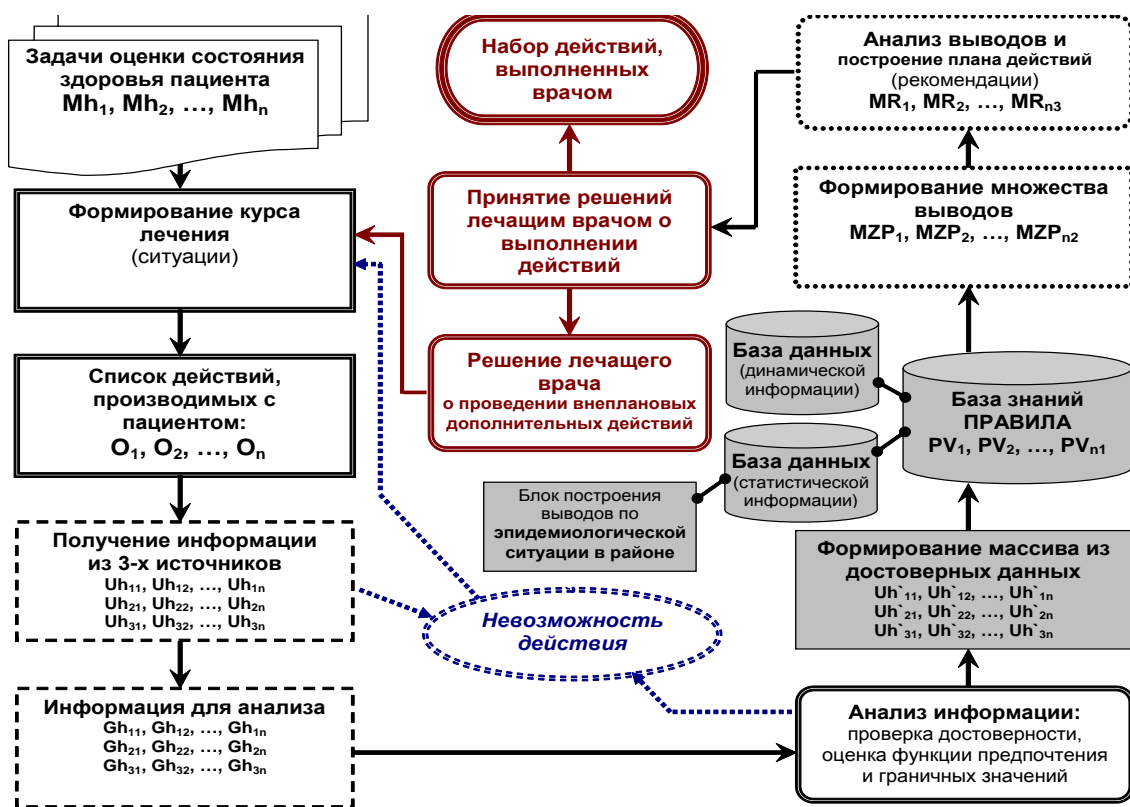


Рисунок 4 – Методика оценки СЗП на основе разработанной СППР

контроля для r -го пациента, зависит от множества действий врача O_r (согласно схеме лечения r -го пациента) актуальных в фиксированный период времени.

Предположение 4. Для каждого действия O_i существуют несколько моделей получения исходных данных, сводящихся к четырем формальным способам: расчет с использованием математических моделей (X_m); данные медицинской статистики (V_m); результаты медицинских анализов (Y_m); анамнез пациента (Z_m). В частности, элементы множеств X_m, V_m, Y_m, Z_m описывают общую модель СЗП $Sh_r = \langle Gh_r, Uh_r \rangle$, где $Gh_r \subset Gh$, а $Uh_r \subset Uh$. Для пациента на один период лечения можно сформировать несколько программ лечения Ph_{ri} , отличающихся как действиями врача O_{ri} , так и составом соответствующих им моделей развития ситуаций Sh_{ri} . Эти схемы лечения могут отличаться достоверностью полученных результатов и временем их получения.

Предположение 5. По лечению пациента формируется модель развития ситуации, заключающаяся в построении рабочей гипотезы о СЗП и в ее оценке, которая осуществляется с использованием данных, полученных в процессе применения схемы лечения Ph_r , на следующем шаге принимается медицинское решение о применении выбранной модели. После сбора необходимых данных вычисляются медицинские показатели, характеризующие СЗП на шаге m_{i+1} , и строится рабочая гипотеза о СЗП, базирующаяся на данных анамнеза, результатах анализа. Модель развития ситуации лечения пациента $MZP' = \{MZP'_i\}$, где $i=1..n_r$, n_r – количество шагов в модели r -го пациента (перечень медицинских выводов, полученных как результат выполненной схемы лечения пациента Ph_{ri}).

Предположение 6. Формирование текущей схемы лечения пациента должно учитывать СЗП и результаты уже проведенных схем и включать в себя последовательность действий и рекомендаций врача, которые проводятся в соответствии с намеченной схемой или в соответствии с развитием ситуации (по

показаниям). Выполняемое врачом множество действий обозначим Mh . В результате отображения множества медицинских выводов MZP^r , полученных в процессе выполнения обследования пациента, появляется необходимость в корректировке намеченной схемы лечения. Каждому MZP^r обязательно соответствует набор рекомендаций MR_i^r . Можно ввести множество условий Q выполнения действий врачом из O и считать, что формирование Ph_r выполняется на основе множества $O' = \{O_r, Q_w\}$, где $O_r \in O, Q_w \in Q$. На основе представленных формальных объектов и моделей развития ситуаций сформирована методика оценки СЗП при применении схемы лечения, состоящая из блоков (рисунок 4).

В третьей главе приведено описание построения модели медицинских знаний, для чего используются универсальная алгебра и нечеткие множества, позволяющие описать нечеткие объекты (измененные для неопределенных моделей и неопределенных данных стандартные объекты ПрО). В проблемной ситуации, возникающей в медико-технологическом процессе, для нахождения рекомендаций необходимо располагать знаниями, на основе которых строится гипотеза о подходящем врачу-пользователю решении и формируется запрос на ее предоставление из хранилища системы.

Интеллектуальная СППМР основана на семантической сети [отражающей смысловую взаимосвязь между объектами ПрО (медико-технологический процесс в медицинском учреждении), а точнее между понятиями, включенными в них, с описанием ситуации для принятия решения], в основу которой положена универсальная алгебра, представленная тремя элементами: $A = \langle S, O, R \rangle$, где S – множество семантических сетей, задающее модели ПрО; R – множество отношений на S ; O – множество операций на S . Семантическая сеть определяется двумя элементами $S_{ПрО} = \{G, U\}$, где G – множество объектов ПрО (ситуация для анализа и набор действий); U – множество связей. Каждая связь отражает отношения между ситуациями или взаимосвязь действий из ПрО и ситуации.

Отношения между объектами в медико-технологическом процессе задаются с помощью разных степеней зависимости, которые представляются как нечеткие объектные связи (рисунок 5). Объект $G_i = \{I, P, U_{G_i}\}$, где I – название объекта ПрО (заголовок ситуации для анализа или набора действий); P – множество понятий, связанных или входящих в объект; U_{G_i} – множество отношений, возникающих между понятиями ПрО P и названием объекта I .

Представим $U_{G_i} = \{T, U_{IP}^s\}$, где T определяет тип объекта ПрО: $T = \{t_1, t_2\}$, где t_1 – ситуация; t_2 – набор действий; U_{IP}^s – нечеткое множество, показывающее степень зависимости между понятием и объектом (которая определяет близость объекта ПрО и понятия): $U_{IP}^s = (\mu_{\tilde{U}_{iP}}(P_j, I) | P_j \in P, I \in G_i)$, где $j = 1, \dots, M$, M – количество понятий в объекте; P_j – понятие, принадлежащее объекту G_i , который соответствует объекту \tilde{G}_i с фиксированными и неопределенными атрибутами: $\tilde{G}_i = \{I_i, P_1, \dots, P_M, t_{P_1}, \dots, t_{P_M}, \{\mu_{\tilde{G}_i}(I_i, P_1), \dots, \mu_{\tilde{G}_i}(I_i, P_M)\}\}$, где P_i – множество понятий, относящихся к i -му объекту ПрО; I_i – информационная часть i -го объекта ПрО; t_{P_i} – тип объекта ПрО; $\mu_{\tilde{G}_i}(I_i, P_i)$ – отношение близости названия объекта ПрО I_i и понятия P_i . На основе взаимосвязи понятий объектов ПрО строится зависимость между узлами. Введено нечеткое отношение $U_{P_{ij}} = \mu_s(P_i, P_j)$, на основе которого формируется нечеткое подмножество: $U_P = \{P_i, P_j, \mu_s(P_i, P_j) | P_i, P_j \in P; i, j = 1..N\}$,

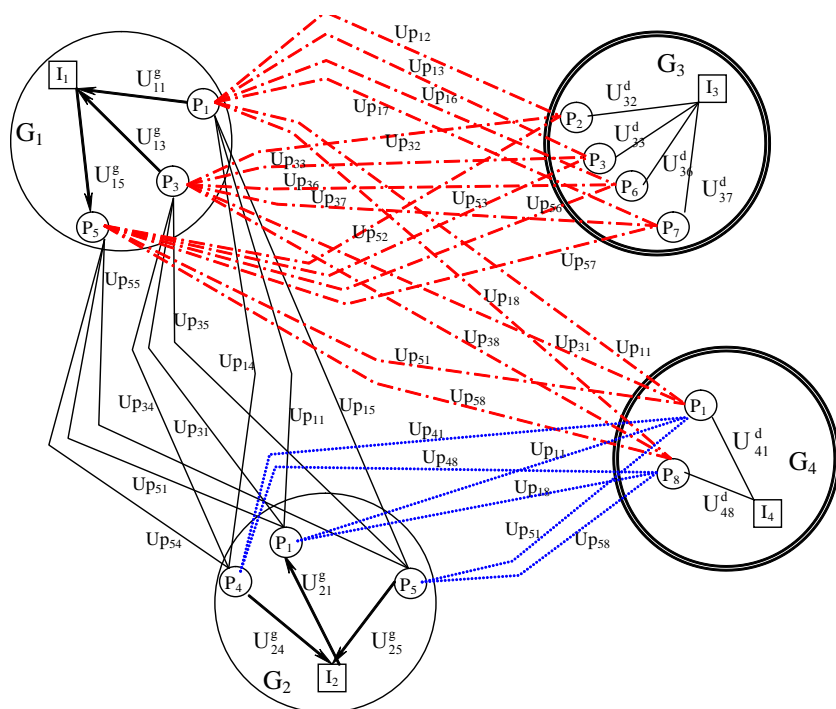


Рисунок 5 – Фрагмент семантической сети

где N – количество понятий в ПрО. Соотношения между ситуациями для анализа и между ситуацией и наборами действий U вычисляются с применением значения зависимости между понятиями, относящимися к медицинским ситуациям, и наборами действий

$$(U = \{U_{ij}\}):$$

$$U_{ij} = \frac{1}{n_i * m_j} \sum_{l=1}^{n_i} \sum_{k=1}^{m_j} U_{P_{lk}}^{ij} - \text{среднее отношение близости понятий, входящих в состав } i\text{-го и } j\text{-го объекта ПрО; } n_i - \text{ количество понятий в } i\text{-м объекте ПрО; } m_j - \text{ количество понятий в } j\text{-м объекте ПрО. При выборе ситуации для анализа используются отношения близости понятий } (U) \text{ и отношения близости понятий, принадлежащих ситуации, и информационной части ситуации } (U_{IP}^g). \text{ Наборы действий из ПрО группируются согласно ситуации для анализа и дальнейшей обработки. Для универсальной алгебры определены множество операций и множество отношений между семантическими сетями и между их элементами.}$$

В главе представлена структура интеллектуальной информационной системы (ИИС), состоящая из следующих блоков: база знаний, модель пациента, модель действий с пациентом, блок построения логического вывода, интерфейсы пользователя и эксперта, блок приобретения знаний. Блок построения логического вывода строится на теории принятия медицинского решения и обработке экспертной информации. Процесс принятия решения о выдаче набора действий происходит поэтапно: генерация возможных действий и их оценка, согласование действий, анализ динамики развития медицинской ситуации, подготовка набора действий. При этом используется метод «выбор по отношениям предпочтения», определяемый обширным представлением о термине «предпочтение выбора» из пары вариантов. $G_i > G_j$ где $G_i, G_j \in S_{i \hat{o} i}$ содержательно интерпретируется как «вариант G_i предпочтительнее, чем вариант G_j ». С использованием функции отношения предпочтения $S_i(k, l)$ и критериального механизма выбора определяется порядок предоставления наборов действий врачу-пользователю. Для характеристики меры близости наборов действий G_k и G_l используется функция близости $f_i(k, l)$, определяющая степень близости набора G_k по отношению к набору G_l . Функция $f_i(k, l)$ – степень уверенности экспертов, что набор G_k ближе к ситуации для анализа G_i , чем набор G_l . Введены пороговые значения (μ_{ik}) отношения близости i -й ситуации к k -му набору:

- $\mu_{ik} \geq \mu_{il} + t_i^p$ – показывает, что G_k ближе к G_l , где t^p – порог предпочтения;
- $\mu_{ik} \geq \mu_{il} + t_i^i - G_k$, по крайней мере, не ближе к G_l , где t^i – порог безразличия;

- $\mu_{ik} \geq \mu_{il} + t_i^v - G_k$ значительно ближе к G_l , где t^v – порог запрещения.

Отношение предпочтения на альтернативе G_k и альтернативе G_l (пара альтернатив): $s_i(k, l) = \sum_{j=1}^J w_j^i g_j^i(k, l)$, где w_j^i – коэффициент веса j -го понятия для i -й ситуации (определяет значимость); g_j^i – функция предпочтения по критерию j для пары альтернатив: $g_j^i(k, l) = \begin{cases} \mu_{jk} - \mu_{jl}, & \text{если } \mu_{jk} > \mu_{jl} \\ 0 & \text{в противном случае} \end{cases}$, где μ_{jk}, μ_{jl} – близость к j -му понятию k -го и l -го набора действий соответственно, вычисляются: $\mu_{jk} = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M (w_m^k \mu_s(P_j, P_m))$, где M – мощность множества понятий, принадлежащих k -му набору действий, $\mu_s(P_j, P_m)$ – отношение близости между j -м и m -м понятиями; w_m^k – коэффициент веса (значимости) m -го понятия для k -го набора.

Модель пациента (МП), используемая в ИИС, представляющая собой сетевую модель, является подмножеством (перекрытием) модели эксперта-предметника и называется оверлейной или перекрывающейся. Первоначально МП – ситуация для анализа и множество понятий с весовыми коэффициентами, определяющими значимость указанного понятия для модели конкретного пациента: $МП = \langle G', P', W' \rangle$, где G' – множество ситуаций для анализа; P' – множество понятий; W' – множество значений, определяющих важность понятий для этого пациента. Изменение МП производится путем добавления множества понятий из ситуации для анализа G_l , при этом изменяются значения, определяющие важность понятий (только для ситуации, включенной в МП):

$МП = МП_n + G_l = \langle G', P'_n + P_g, W' \rangle$, где $МП_n$ – модель пациента на предыдущем шаге; P'_n – множество понятий МП на предыдущем шаге; P_g – множество понятий, определенных в ситуации G_l ; $W' = \{w_i\}$ – множество значений, определяющих значимость понятия. Значение $w_i = (w_{ni} + \mu_{G_i}) / 2$, где w_{ni} – значение

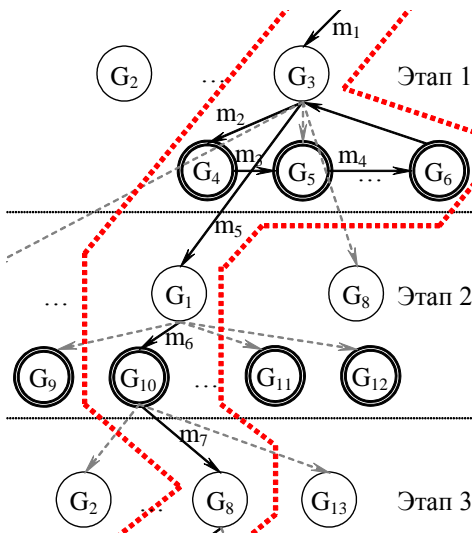


Рисунок 6 – Формирование модели действий с пациентом

близости понятия пациента на предыдущем шаге; μ_{G_i} – близость понятия к информационной части ситуации. Далее формируются отношения $U_{МПi}$ между ситуациями для анализа наборами действий семантической сети ПрО и моделью пациента. Модель действий, производимых с пациентом, представляется упорядоченной последовательностью вида $m_1, m_2, \dots, m_r, \dots, m_l$. Определены две интерпретации модели действий, производимых с пациентом: древовидная структура (рисунок 6), в которую включаются выбранные и отвергнутые ситуации для анализа, а также выбранные и отвергнутые наборы действий, найденные системой согласно ситуации для анализа и характеристик пациента, и линейная последовательность при ознакомлении врача-пользователя с

системой или при отсутствии достаточного объема исходной информации. Система, анализируя модель пациента и семантическую сеть, формирует возможные варианты выбора действий для врача-пользователя. Для предоставления

набора действий используются критериально-экстремизационные механизмы выбора. На основе полученной функции предпочтения формируется числовая ось значений, где отображается множество полученных согласно запросу наборов действий базы знаний.

Каждому выбранному пользователем набору действий G_k число $\varphi_{МП}(G_k)$ соответствует та точка шкалы φ , в которую отображен этот набор.

Оценка $\varphi_{МП}(G_k)$ определяет меру близости полученного набора действий к ситуации: $\varphi_{МП}(G_k) = \sum_{j=1}^{N_{МП}} w_j^k \sum_{i=1}^{M_{G_k}} w_i^k \mu_s(P_i, P_j)$, где $N_{МП}$ – количество понятий, принадлежащих МП; M_{G_k} – количество понятий, принадлежащих набору действий G_k ; w_j^k – значимость понятия в МП; w_i^k – значимость понятия в наборе действий; $\mu_s(P_i, P_j)$ – близость i -го понятия к j -му. Чем больше значение $\varphi_{МП}(G_k)$, тем больше значимость набора действий для пациента. Приписанное набору действий G_k число $\varphi_{МП}(G_k)$ – это *критериальная оценка*, а сформированная шкала – *критериальная шкала*.

Искомými наборами действий будет множество наборов, удовлетворяющих условию: $\max_{G_k \in G} \varphi(G_k)$. Набор вариантов, имеющий максимальную критериальную оценку по сравнению с другими, принадлежащими модели ПрО, включается в список найденных наборов действий. В ПрО существует несколько ситуаций

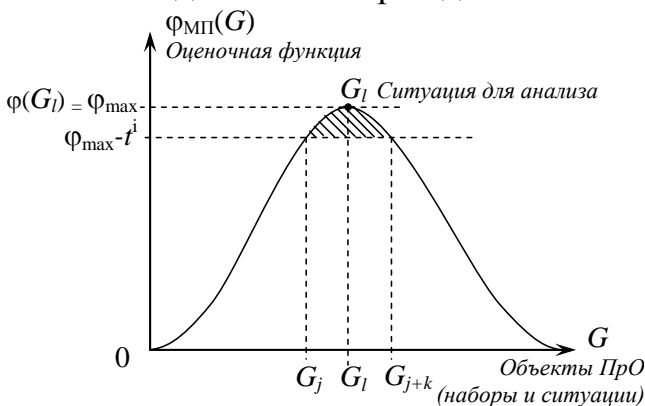


Рисунок 7 – Оценочная функция

согласно ситуациям для анализа ПрО

анализа, с ней идет сравнение каждого набора действий из группы. Характеристика *отклонения набора действий* в группе. Обозначим $\Sigma_{гр}$ – среднее отклонение наборов в группах от ситуации для анализа:

$\Sigma_{\bar{a}\bar{d}} = \frac{1}{Ns_{\bar{d}\bar{t}}} \sum_{j=1}^{Ns_{\bar{d}\bar{t}}} \left(\frac{1}{Nn_j} \sum_{i=1}^{Nn_j-1} (\varphi_n(G_i) - 1)^2 \right)$, где $Ns_{\bar{d}\bar{t}}$ – количество ситуаций для анализа в

модели ПрО; Nn_j – количество наборов действий в j -й ситуации; $\varphi_n(G_i)$ – нормализованная оценочная функция близости наборов действий к ситуации. Нормализованная оценочная функция $\varphi_n(G_k) = \frac{1}{Ms} \sum_{j=1}^{Ms} w_j^k \frac{1}{Ln} \sum_{i=1}^{Ln} w_i^k \mu_s(P_i, P_j)$, где Ms – количество понятий в ситуации; Ln – количество понятий в наборе действий G_k . Изменение значимости понятий в модели пациента производится по следующей формуле: $w_i = (w_i + b \cdot \mu_G(I, P_i)) / 2$, где w_i – значимость i -го понятия для конкретного пациента; $\mu_G(I, P_i)$ – близость понятия к найденному набору действий; b – коэффициент, выбираемый в зависимости от ответа пользователя: $b=1$ (если пользователь согласен с набором) или $b=0$ (если не согласен), $b \in [0; 1]$. С помощью

для анализа, согласно которым происходит группировка наборов действий, при этом проекции по ситуациям приобретают вид как на рисунке 7. Алгоритм выбора наборов действий состоит в следующем: 1) модель ПрО разбивается инженером по знаниям на ситуации для анализа; 2) с использованием функции оценки φ создается набор действий, близких к заданной ситуации; 3) центром каждой образованной группы является ситуация для

разработанной теории построения модели ПрО на основе семантической сети и нечетких объектов в разработанной системе медицинского назначения решается задача хранения знаний о состоянии здоровья пациента и схемы лечения. Такой подход позволяет с точностью до 86 % выбрать правильную схему лечения для конкретного пациента.

В четвертой главе раскрывается понятие «материальный поток в медицине» (распределение лекарственных средств в медицинском учреждении). Научной задачей, лежащей в основе исследования проблемы оптимального регулирования таких потоков, остается разработка методов и алгоритмов когнитивного анализа. Когнитивные карты – это эффективный инструмент в задачах исследования структуры модели системы и получения прогнозов ее развития при различных управляющих медицинских решениях. С учетом задачи регулирования материальных потоков в медицинских интеллектуальных системах и анализа имеющихся на настоящий момент нечетких когнитивных карт (НКК) возникла необходимость в разработке собственного вида НКК, получившей название «универсальная нечеткая когнитивная карта» (УНКК).

НКК – нечеткая сеть влияния друг на друга концептов: $УНКК=(C,U)$, где C – множество концептов, задаваемое кортежем: $C=\{C_i\}$ при $i=1..n_c$, где n_c – мощность множества концептов; U – множество связей, установленных между концептами: $U=\{u_{ij}\}$ при $j=1..n_c$. Концепт C_i представляется LPc_i лингвистической переменной (ЛП): $LPc_i=\langle \tilde{C}_i, Lc_i, Pc_i \rangle$, где Pc_i – базовое терм-множество лингвистической переменной \tilde{C}_i ; Lc_i – список лингвистических значений i -го концепта ПрО. $Lc_i=\{Lc_k^i\}$ при $k=1,2,\dots,m_i$ характеризует набор базовых состояний, где m_i – число таких состояний i -го концепта. Каждый элемент множества Lc_k^i – это терм, содержащий базовое состояние концепта C_i , который представляется тройкой нечетких переменных: $\langle Lc_k^i, Pc_i, \tilde{S}c_k^i \rangle$. $\tilde{S}c_k^i$ – нечеткое множество в базовом множестве Pc_i . $\tilde{S}c_k^i=\{p, \mu_{\tilde{S}c_k^i}(p) \mid p \in Pc_i\}$, где $\mu_{\tilde{S}c_k^i}(p)$ – нечеткая функция принадлежности; p – элемент, принадлежащий базовому множеству Pc_i . Элементы множества U – связи между концептами, u_{ij} задают степень влияния между парой концептов ПрО, определяются конкретным значением из терм-множества лингвистической переменной LPu_{ij} , которая определяется следующим набором: $LPu_{ij}=\langle \tilde{U}_{ij}, Lu_{ij}, Pu_{ij} \rangle$, где Pu_{ij} – базовое терм-множество лингвистической переменной \tilde{U}_{ij} ; Lu_{ij} – список лингвистических значений степени связи между i -м и j -м концептами ПрО, задается выражением $Lu_{ij}=\{Lu_{kh}^{ij}\}$ при $h=1,2,\dots,m_j$ и характеризует набор его базовых состояний, где m_j – число таких состояний j -го концепта; $k \times h$ – число значений. Каждый элемент множества Lu_{kh}^{ij} – это терм, содержащий базовое значение (состояние) веса влияния \tilde{U}_{ij} между парами i -го и j -го концепта УНКК, представляемое тройкой нечетких переменных: $\langle Lu_{kh}^{ij}, Pu_{ij}, \tilde{S}u_{kh}^{ij} \rangle$. $\tilde{S}u_{kh}^{ij}$ – нечеткое множество в базовом множестве Pu_{ij} , записывается выражением следующего вида: $\tilde{S}u_{kh}^{ij}=\{p, \mu_{\tilde{S}u_{kh}^{ij}}(p) \mid p \in Pu_{ij}\}$, где $\mu_{\tilde{S}u_{kh}^{ij}}(p)$ – нечеткая функция принадлежности; n_n – мощность множества концептов, $Pu_{ij}(C_i, C_j \in C; k=1..m_i; h=1..m_j; i=1..n_c; j=1..n_c)$.

В УНКК учет влияний концептов друг на друга и учет накапливания их

воздействия решаются с помощью нечетких множеств, содержащих информацию как по состоянию самих концептов, так и по весу их влияния друг на друга, и приращений этих значений с течением времени, для этого необходимо применение нечетких продукционных систем типа Е. Мамдани для задания нечетких отображений и нечетких алгебраических операций на всем диапазоне базовых множеств. Нечеткий логический вывод осуществляется в соответствии с алгоритмом Мамдани, где значения входного и выходного концепта заданы нечеткими множествами: $\bigcup_{p=1}^{k_j} \left(\bigcap_{i=1}^n x_i = TermIn_{i,jp} \cdot w_{jp} \right) \rightarrow y = TermOut_j, j = \overline{1, m}$. Функции принадлежности $\mu_{jp}(x_i)$ (входного концепта x_i нечеткому терму $TermIn_{i,jp}$) и $\mu_j(y)$ (выходного концепта y нечеткому терму $TermOut_j$), где $x_i = z$ и $z \in [z, \bar{z}]$, тогда $TermIn_{i,jp} = \int_z^{\bar{z}} \frac{\mu_{jp}(z)}{z} dz$; $TermOut_j = \int_y^{\bar{y}} \frac{\mu_j(y)}{y} dy$ при $y \in [y, \bar{y}]$. Через $X^* = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)$ выразим для входного вектора X^* степени принадлежности нечетким термам $TermOut_j$. Значения вектора $\mu_j(x^*) = \bigvee_{p=1, k_j} u_{jp} \cdot \bigwedge_{i=1, n} [\mu_{jp}(x_i^*)]$, $j = \overline{1, m}$, где символом \bigvee обозначается операция s -нормы; \bigwedge - операция t -нормы. Преобразуя, получаем нечеткое множество \tilde{y} , которое соответствует входному вектору X^* :

$$\tilde{y} = \frac{\mu_1(X^*)}{TermOut_1} + \frac{\mu_2(X^*)}{TermOut_2} + \dots + \frac{\mu_m(X^*)}{TermOut_m}$$
 (нечеткие множества второго порядка, для которых универсальное множество – терм-множество выходного концепта y). Переход от нечеткого множества, которое задается универсальным множеством нечетких термов $\{TermOut_i\}$, к нечеткому множеству, заданному на интервале $[y, \bar{y}]$, осуществляется по шагам: 1) «ограничить» функции принадлежности выходного концепта $\mu_j(y)$ до уровня $\mu_j(X^*)$; 2) выполнить операцию объединения полученных нечетких множеств (через agg – операцию агрегирования нечетких множеств), реализуемую операцией поиска максимума

$$\tilde{y} = agg_{j=1, m} \left(\int_y^{\bar{y}} \frac{\min(\mu_j(X^*), \mu_j(y))}{y} dy \right)$$
. Метод центра тяжести $\tilde{y} = \frac{\int_y^{\bar{y}} y \cdot \mu_{\tilde{y}}(y) dy}{\int_y^{\bar{y}} \mu_{\tilde{y}}(y) dy}$ используется для нахождения четкого значения выходного концепта y , определенного согласно входному вектору X^* и найденного в результате операции дефаззификации нечеткого множества \tilde{y} .

В УНКК использованы детерминированные модели динамики веса на дугах (связях) между концептами и интерпретированы как передаточные коэффициенты. Прогноз развития ситуации – факторы, выраженные в абсолютных значениях, а динамика – как отклик системы на абсолютные изменения значений входных факторов. Для учета накапливания связей между концептами и их совместного влияния использована модель динамики, аналогичная модели динамики Ф.Робертса: для C_i концепта: $\tilde{N}_i(t+1) = \tilde{N}_i(t) + \sum_{j=1}^{M_j} \Delta \tilde{N}_{ij}(t+1)$, где t – определенный момент времени; $C_i(t+1)$ – значение i -го концепта в момент времени $(t+1)$; $\Delta C_{ij}(t+1)$ – приращение концепта, определяемое по следующей формуле: $\Delta C_{ij}(t+1) = f_{ij}[C_j(t), C_i(t), \Delta C_j(t)]$, где $f_{ij}[\]$ – нелинейная функция, отражающая влияние входного концепта C_j на выходной концепт C_i .

Для построения динамической модели в УНКК предположим, что влияние входных концептов на выходные носит независимый характер и является адди-

тивным, тогда нечеткую систему с Mv входами можно заменить на Mv систем с одним входом. В системах с одним входом $\Delta\tilde{C}_{ij}(t+1)$ для учета накапливания набора нечетких значений выходов применена операция нечеткого алгебраического сложения, обозначенная « \oplus », которая позволяет осуществлять перемещение по базовому множеству и выполнять операции с нечеткими значениями по обеим координатам: $\tilde{C}_i(t+1) = \tilde{C}_i(t) \oplus \left(\oplus_{j=1}^{Mv} \Delta\tilde{C}_{ij}(t+1) \right)$, где $\oplus_{j=1}^{Mv}$ – нечеткая алгебраическая сумма; $\Delta\tilde{C}_{ij}(t+1)$ – приращение нечеткого концепта, определяемое по формуле $\Delta\tilde{C}_{ij}(t+1) = \tilde{f}_{ij}[\tilde{C}_j(t), \tilde{C}_i(t), \Delta\tilde{C}_j(t)]$, где \tilde{C}_i, \tilde{C}_j – нечеткие множества, содержащие значения уровней i -го (выходного) и j -го (входного) концепта; $\Delta\tilde{C}_{ij}$ – нечеткое множество, содержащее значение приращения входного концепта, смежного с выходным; $\Delta\tilde{C}_j$ – нечеткое множество, содержащее значение приращения входного концепта; $\tilde{f}_{ij}[\]$ – функция-оператор, задающая нечеткое отображение типа «три входа и один выход». Для удобства в дальнейших преобразованиях нечеткую систему с тремя входами $\tilde{f}_{ij}[\]$ преобразуем к последовательному соединению двух нечетких систем с двумя входами (рисунок 8).

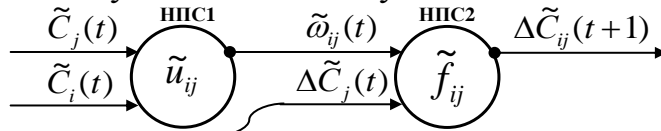


Рисунок 8 – Последовательная схема динамической модели ПрО

Первая нечеткая продукционная система (НПС1) будет отображаться нечетким оператором \tilde{u}_{ij} и характеризовать при этом степень взаимного влияния концептов по

их базовым состояниям (абсолютные значения). Вторая нечеткая продукционная система (НПС2) из этой последовательности будет представлять собой нечеткий оператор $\tilde{f}_{ij}[\]$, тогда $\tilde{C}_i(t+1) = \tilde{C}_i(t) \oplus \left(\oplus_{j=1}^M \tilde{f}_{ij}[\tilde{\omega}_{ij}(t), \Delta\tilde{C}_j(t)] \right)$, где $\tilde{\omega}_{ij}(t)$ – степень взаимного влияния концептов по их базовым состояниям, которая представлена следующим выражением: $\tilde{\omega}_{ij}(t) = \tilde{u}_{ij}[\tilde{C}_i(t), \tilde{C}_j(t)]$.

Согласно проведенному анализу наиболее приемлемо применить эту теорию для представления \tilde{u}_{ij} и \tilde{f}_{ij} в виде нечетких продукционных систем, с помощью которых можно в виде нечетких множеств представить нечеткие правила. Для этого с помощью терм-множеств лингвистических термов (значений) каждой паре концептов, представленных нечеткими множествами \tilde{C}_i и \tilde{C}_j , присваивается собственная функция принадлежности к базовому множеству, в том числе и для приращения $\Delta\tilde{C}_j$. Входной концепт \tilde{C}_j воздействует на выходной концепт \tilde{C}_i , каждый из них в терм-множестве определяется конкретным значением лингвистической переменной $LP\tilde{C}_j$ и $LP\tilde{C}_i$. $LP\tilde{C}_i = \langle \tilde{C}_i, L\tilde{C}_i, P\tilde{C}_i \rangle$, где $P\tilde{C}_i$ – базовое терм-множество выходного концепта \tilde{C}_i лингвистической переменной; $L\tilde{C}_i = \{L\tilde{C}_{p1}^i\}$ – список лингвистических значений степени влияния i -го концепта ПрО ($p_1=1,2$), и характеризует набор его базовых состояний. Каждый элемент множества – это терм, содержащий базовое значение (состояние) веса влияния \tilde{C}_i . Аналогично определяется $LP\tilde{C}_j = \langle \tilde{C}_j, L\tilde{C}_j, P\tilde{C}_j \rangle$.

НПС1 отображает воздействие между базовыми состояниями входного и выходного концепта, задается определенным значением лингвистической переменной из терм-множества $LP\tilde{u}_{ij} = \langle \tilde{u}_{ij}, L\tilde{u}_{ij}, P\tilde{u}_{ij} \rangle$, где

$L\tilde{u}_{ij} = \{L\tilde{u}_{kh}^{ij}\}$ при $k=1,2,2,3; h=1,1,2,2$ – список лингвистических значений степени связи между i -м и j -м концептами ПрО, и характеризует набор его базовых состояний, каждый элемент множества $L\tilde{u}_{kh}^{ij}$ – это терм, содержащий базовое значение влияния этой двойки концептов. Нечеткие продукционные правила, определяющие силу влияния концептов, в абсолютном выражении можно записать как: *IF* $\tilde{C}_j = Lc_1^j$ & $\tilde{C}_i = Lc_1^i$ *THEN* $\tilde{\omega}_{ij}(t) = Lu_{11}^{ij}$.

НПС2 отображает воздействие приращения входного концепта на выходной концепт $LP\tilde{f}_{ij} = \langle \tilde{f}_{ij}, L\tilde{f}_{ij}, P\tilde{f}_{ij} \rangle$, где $L\tilde{f}_{ij} = \{L\tilde{f}_{kh}^{ij}\}$ при $k=1,2,2,3; h=1,1,2,2$ – список лингвистических значений степени связи между приращением входного концепта и выходным концептом ПрО, и характеризует набор его базовых состояний, каждый элемент множества $L\tilde{f}_{kh}^{ij}$ – это терм, содержащий базовое значение влияния этой двойки концептов. Нечеткие продукционные правила, определяющие силу влияния V_{ij} приращения входного концепта на выходной, в абсолютном выражении можно записать как: *IF* $\tilde{\omega}_{ij}(t) = Lu_{11}^{ij}$ & $\Delta\tilde{C}_j(t) = V_{ij}$ *THEN* $\Delta\tilde{C}_{ij}(t+1) = Lu_{11}^{ij}$.

В результате работы последовательной схемы динамической модели УНКК получим итоговое нечеткое множество $Vol\Delta\tilde{C}_{ij}(t+1)$, в котором содержатся значения приращений в момент времени $t+1$ для i -го и j -го концептов и находятся эти значения на основе способа нечеткого логического вывода. Найденные по каждому правилу конечные заключения (усеченные функции принадлежности) объединяют, применяя операцию «максимума». Это действие необходимо сделать для всех входных концептов из ПрО по отношению к конкретному выбранному выходному концепту. Итоговое значение имеет вид $Vol\Delta\tilde{C}_i(t+1) = \bigoplus \sum_{j=1}^{Mv} Vol\Delta\tilde{C}_{ij}(t+1)$. Далее выполняется операция нечеткого сложения в момент времени $t+1$: $\tilde{C}_i(t+1) = \tilde{C}_i(t) \oplus Vol\Delta\tilde{C}_i(t+1)$. Для построения модели УНКК в целом необходимо выполнить перечисленные действия для всего множества концептов C ПрО в момент времени t .

В главе проанализировано несколько подходов для обучения УНКК, с учетом их достоинств и недостатков предложен собственный алгоритм обучения на пакете эталонных сценариев, в основе которых – нечеткие уравнения (рисунк 9). В каждый из моментов времени $t, t+1, t+2$ должны быть определены значения величин состояния (активности) факторов. Изменение значений факторов от i -й до $(i+1)$ -й итерации осуществляет начальный вектор приращений X^{**} . Значения приращений, взятые из статистических данных для $i+2$ -й итерации, должны совпадать со значениями, рассчитанными с помощью матричного уравнения: $X^{**}(t+1) = X^{**}(t) \circ U'$, где знак « \circ » означает композицию, определяющуюся t -нормой или s -нормой, тогда $x_i(t+1) = \max_j [x_j(t) \cdot u_{ij}]$. Обозначим $VolC_i(t)$ – значение C_i концепта (активного) в момент времени t , тогда $x_i = [VolC_i(t+1) - VolC_i(t)] / VolC_i(t)$, где $VolC_i(t+1)$ – значение C_i концепта (активного) в момент времени $t+1$. Выходной (результатирующий) вектор задается выражением $y_i = [VolC_i(t+1) - VolC_i(t)] / VolC_i(t)$. Пусть $Vol\Delta C_i(t)$ – значение приращения C_i концепта, полученного в результате моделирования в момент времени t на входном векторе $x(t)$. Следовательно, необходимо минимизировать значение ошибки $E = \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^{Na} ([Vol\Delta C_i(t) - VolC_i(t)]^2) / 2$, где T – количество временных интер-

валов в модели, N_a – количество активных концептов. При достижении

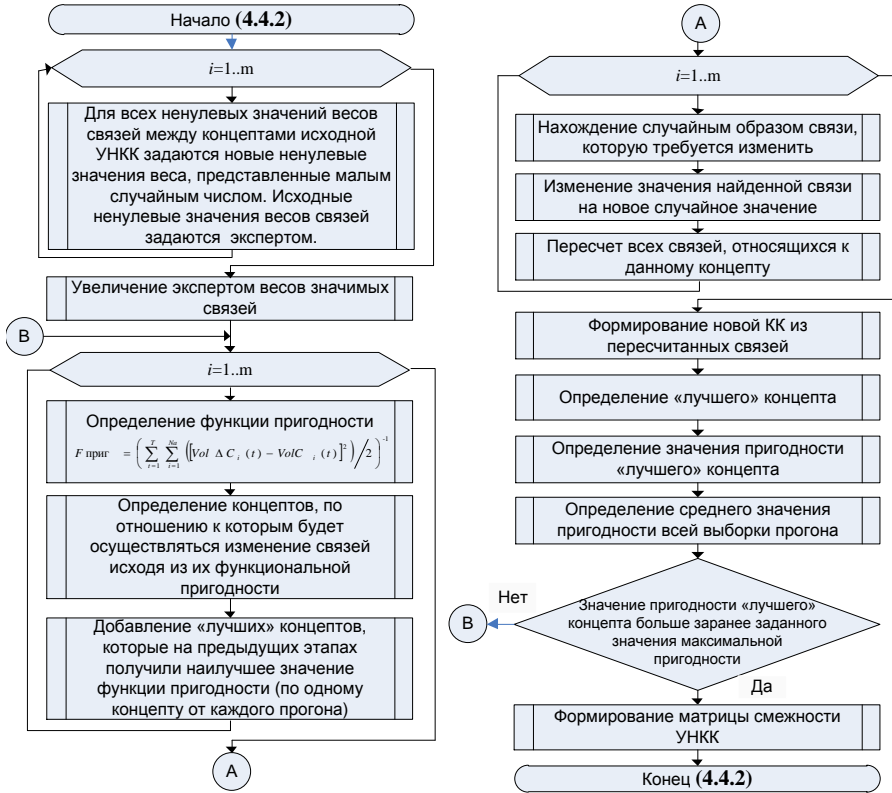


Рисунок 9 – Алгоритм обучения УНКК на основе обучающей выборки

заданной погрешности считается, что обучение УНКК прошло успешно.

Для исследования устойчивости УНКК в качестве аналитических показателей рассматриваются системные показатели УНКК модели (рисунок 10), рассчитываемые на основе значений нечеткой транзитивно-замкнутой матрицы влияний концепта на концепт $\|S_{ij}, \bar{S}_{ij}\|_{M \times M}$ и ориентированные на решение задач поддержки принятия решения управления материальными

потоками в динамике.

Пусть \bar{S}_{ij} – минимальный отрицательный путь от концепта C_i к концепту C_j , $\bar{S}_{ij} = \Delta \tilde{C} M_{ij}$; S_{ij} – максимальный положительный путь; $S_{ij} = \Delta \tilde{C} M_{ij}$. Для определения влияния концептов от исходной матрицы $\Delta \tilde{C} = \|\text{Vol} \Delta \tilde{C}_{ij}\|_{M \times M}$ с нечеткими связями (положительными или отрицательными) перейдем к нечеткой матрице $\Delta \tilde{C} M = \|\Delta \tilde{C} M_{ij}, \bar{\Delta \tilde{C} M}_{ij}\|_{M \times M}$, состоящей из элементов, образованных парой положительного и отрицательного элементов исходной матрицы $\Delta \tilde{C}$, полученных по определенным правилам.

1. Влияние концепта на концепт		
Консонанс влияния	Диссонанс влияния	Влияние (воздействие) $\bar{S}_{ij} \neq -S_{ij}$
$Con_{ij} = S_{ij} + \bar{S}_{ij} / (S_{ij} + \bar{S}_{ij})$	$Dis_{ij} = 1 - Con_{ij}$	$Act_{ij} = \text{sign}(S_{ij} + \bar{S}_{ij}) \cdot \max(S_{ij} , \bar{S}_{ij})$
2. Влияние концепта на УНКК		
Консонанс влияния C_i	Диссонанс влияния C_i	Совокупное влияние C_i
$\vec{Con}_i = \left(\sum_{j=1}^M Con_{ij} \right) / M$	$\vec{Dis}_i = \left(\sum_{j=1}^M Dis_{ij} \right) / M$	$\vec{Act}_i = \left(\sum_{j=1}^M Act_{ij} \right) / M$
3. Влияние группы концептов на концепт		
Консонанс группы B на концепт C_i	Взаимный консонанс B и концепта C_i	
$ConG_{Bi} = \left(\sum_{j \in B} Con_{ij} \right) / M_B$, где M_B – количество концептов в группе B	$ConG_{Bi} = \left(Con_{Bi} \circ ConG_{Bi} \right)$, где « \circ » – операция s-нормы	

В соответствии с определенной информационной моделью на основе универсальной алгебры и методами нечеткого когнитивного анализа разработан алгоритм учета медицинского материального потока на

Рисунок 10 – Показатели устойчивости УНКК на основе УНКК (рисунок 11). В разработанной СМН решается задача персонализированного распределения лекарственных средств. Такой подход позволяет

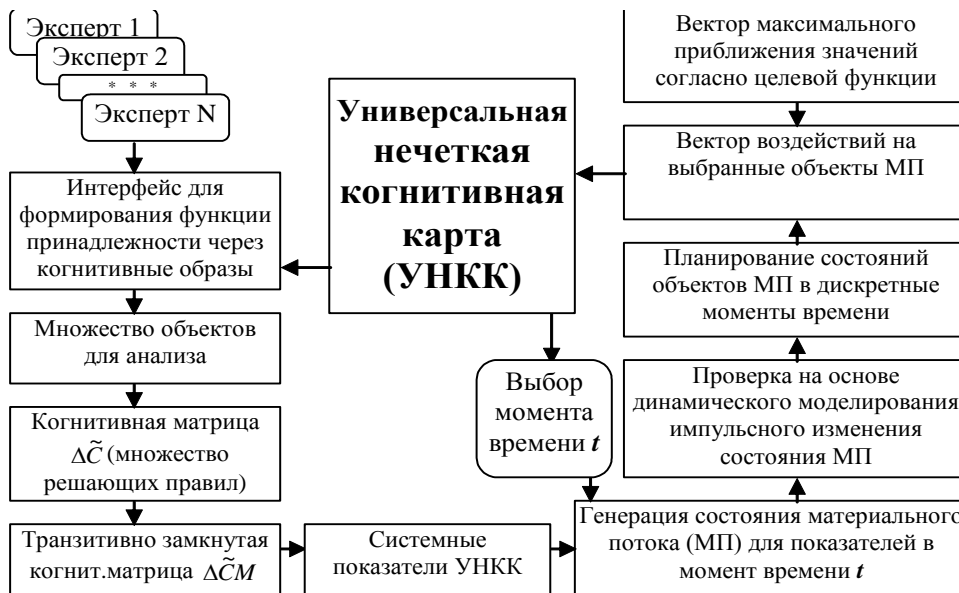


Рисунок 11 – Структурная схема учета материального потока на основе УНКК

распределять лекарственные средства с эффективностью до 96%.

Оценку производила лечебно-контрольная комиссия для распределения лекарственных препаратов льготной категории граждан, находящихся на обслуживании диспансера за 2010-2014 гг.

В пятой главе приводится описание применения разработанных в диссертации методов, алгоритмов и моделей в задачах ППМР в условиях неопределенности, сформулированных в главе 1. Дается краткое описание разработанных информационных систем, их основных возможностей и структурных схем.

Интеллектуальная аналитическая система мониторинга пациентов на основе нечеткой кластеризации для медицинских учреждений «Диспансер» реализована на основе изложенных в главе 2 теории представленных алгоритмов, методики нечеткой кластеризации и критериев, позволяющих оценить качество решения задач нечеткой кластеризации.

Система поддержки принятия решений на основе нечеткой логики «Stacionar» и автоматизированная информационная система медицинского учреждения «Эксперт» были спроектированы и реализованы на основе изложенной в главе 2 теории. Алгоритмы и методы построения модели пациента и модели развития ситуации по его лечению на основе нечетких семантических сетей представлены в главе 3, УНКК – в главе 4.

Система поддержки принятия решений на основе технологий когнитивного анализа «ALFAVIT» и программный комплекс интеллектуального управления материальными запасами на основе нечеткого когнитивного анализа «Alf-Zdr. Товарный запас» были спроектированы и реализованы на основе теории представленных алгоритмов и методов интеллектуальной ППР на основе технологий когнитивного анализа и УНКК, изложенных в главе 4.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

В диссертационной работе в рамках решения поставленной научно-технической проблемы обработки данных медико-технологических процессов для интеллектуальной поддержки принятия решений в системах медицинского назначения и разработки интеллектуальной СППМР в медицинских учреждениях на основе теории нечетких множеств, семантических сетей и когнитивного анализа, позволяющих повысить эффективность лечения:

1) проведено исследование особенностей ППМР в условиях неопределенности, выявлены положительные и отрицательные стороны известных методов, моделей и алгоритмов ППМР в условиях неопределенности при решении медицинских задач, которые во многих случаях не обеспечивают получение соот-

ветствующих требованиям решений ввиду малообоснованного выбора параметров моделирования, при этом нахождение адекватных решений из-за необходимости многократного выполнения реализаций, методов, алгоритмов и моделей с целью выбора наиболее оптимальных параметров характеризуется значительными временными затратами;

2) разработан модифицированный метод нечеткой кластеризации на основе нечеткого отношения равнозначности, порождаемого свойствами исследуемых данных медико-технологического процесса, и без использования дополнительных сведений о кластерах, не зависящих от формы кластеров и наличия в них центров. Основой предложенного метода являются мягкое нечеткое отношение и нечеткое отношение равнозначности, возникающие из свойств исследуемых множеств данных медицинской ПрО и позволяющие осуществить полную формализацию решения задачи кластеризации, при этом оценивается качество каждого разбиения и выбирается наилучшее из них;

3) предложен алгоритм выбора варианта течения болезни, позволяющий при реализации модифицированного метода нечеткой кластеризации продуктивно выявлять в исследуемых данных медико-технологического процесса кластеры произвольной формы; отбор наилучшего решения задачи кластеризации выполняется с применением нечеткого отношения равнозначности и специально разработанного критерия – нечеткой оценочной функции разбиения, использующей понятие мощного кластера, что повышает точность выбора на 8-19 %;

4) предложена концепция выработки возможных альтернатив рекомендаций по принятию медицинских решений при профилактике и лечении заболеваний человека на базе анализа ситуаций медико-технологического процесса, в основе которой: гипотеза о подобии; методика построения модели ПрО с использованием семантической сети для рекомендательной медицинской БЗ; определены нечеткие множества для приблизительных рассуждений и обработки неопределенности при создании модели знаний; алгоритм расчета веса ключевого понятия в рекомендации; методика получения рекомендации из БЗ согласно ключевым понятиям проблемной ситуации;

5) на основе предложенной концепции врачу-пользователю предлагается схема выбора методики лечения пациента, для этого построены: сетевая архитектура модели пациента для системы медицинского назначения и модель действий, производимых с пациентом, которые позволяют проводить анализ ситуации медико-технологического процесса на базе оценочной функции и использования критериальных механизмов выбора, дающих возможность с высокой достоверностью находить наиболее релевантные наборы действий и осуществлять их ранжирование по степени значимости, что позволяет увеличить достоверность до 93 %;

6) для динамического моделирования медико-технологических процессов разработана универсальная нечеткая когнитивная карта (УНКК), в структуре карты нечеткими являются концепты и связи между концептами, которые отражают тип распространения влияния концепта на концепт; присутствуют механизмы накапливания влияния группы концептов на конкретный концепт;

7) разработаны метод и алгоритм обучения УНКК, которые позволяют повысить точность построения и адекватность моделируемых ПрО за счет учета накопленной статистической информации о состояниях медико-технологических процессов в определенные моменты времени; введены аналитические показатели устойчивости УНКК – системные показатели модели, рассчитываемые на основе значений нечеткой транзитивно-замкнутой матрицы

влияний концепта на концепт и ориентированные на решение задач поддержки принятия решения в управлении медицинскими материальными потоками;

8) разработана модель динамики для УНКК, которая дает возможность проводить анализ поведения сложных систем медицинского назначения, учитывая нелинейный характер влияния между концептами в корреляции от нечеткого состояния концепта на входе и концепта на выходе; одновременный учет влияния значений изменений концептов и значений их состояний; нелинейный характер влияния изменений концептов; одновременный учет влияния концептов разных знаков друг на друга; предложен способ построения модели ПрО на основе УНКК, с помощью которой решена задача персонифицированного распределения лекарственных средств (с эффективностью до 96 %);

9) предложена методология реализации систем медицинского назначения для оптимизации, обработки информационных данных, получаемых в медико-технологическом процессе, и интеллектуализации ППМР в условиях неопределенности, на основе теорий нечетких множеств, семантических сетей и когнитивного анализа, позволяющая повысить эффективность лечения на 3-12 %;

10) разработан ряд информационных систем, реализующих предлагаемые методы, алгоритмы и модели ППМР в медицинских предметных областях в условиях неопределенности, которые решают актуальные прикладные задачи:

- задачу консультативной помощи врачу при определении диагноза с использованием иерархической классификации и определения варианта течения болезни методом нечеткой кластеризации с учетом анализа статистической информации;

- задачу ППМР при выборе курса лечения пациента и дальнейшей его корректировке в зависимости от ситуации, построения модели оценки СЗП и формирования схемы лечения;

- задачу формирования базы знаний методов лечения различных форм заболевания в зависимости от СЗП и осуществления эффективного управления медицинскими материальными ресурсами (персонифицированное распределение лекарственных средств);

- задачу ППМР в организации управления медицинскими материальными потоками на основе универсальных нечетких когнитивных карт и процедур динамического моделирования, настройки построенной модели медицинского запаса с учетом механизма обучения и анализа устойчивости универсальных нечетких когнитивных карт;

- задачу оценки работы врача, автоматизации работы квалификационной экспертной комиссии (КЭК), расчета различных показателей работы медицинского учреждения, в том числе оценки эффективности лечения и отчетов по форме 33. С помощью нечеткой кластеризации производилась оценка факторов риска, влияющих на результаты лечения впервые выявленных больных туберкулезом легких, было решено увеличить количество когорт при учете таких пациентов для получения корректных оценок результатов лечения.

Исследования разработанных методов, алгоритмов и моделей и их опытное применение показали: повышение адекватности и обоснованности принятия решения в медицинских предметных областях в условиях неточности и неопределенности исходной информации, в том числе при субъективных оценках экспертов; повышение качества формализации знаний экспертов в человеко-машинных процедурах в задачах инженерии знаний; снижение финансовых и временных затрат, связанных с необходимостью сбора и учета точных и полных исходных данных о СЗП. Валидность всех представленных в работе моде-

лей составляет 0,85 и выше. Проверка моделей производилась по принципу сравнения с имеющимися данными по лечению пациентов (в системе накопленна статистика Областного противотуберкулезного диспансера с 1999 года).

Совокупность предлагаемых в диссертационной работе методов, алгоритмов, моделей и принципов построения систем медицинского назначения создаст предпосылки для разработки широкого класса информационно-аналитических систем и систем поддержки принятия решений в медицинской сфере для решения различного класса задач, возникающих при обработке информации по медико-технологическим процессам.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации из перечня ВАК

1. Крошилин, А.В. Обзор подходов к проблеме принятия решений в медицинских информационных системах в условиях неопределенности / Д.Х. Доан, А.В. Крошилин, С.В. Крошилина // *Фундаментальные исследования*. – 2015. – № 12–1. – С. 26-30.
2. Крошилин, А.В. Использование нечеткой кластеризации для оптимизации информационных данных в медицинском технологическом процессе / А.В. Крошилин // *Вестник РГРТУ*. – 2015. – №2(52). – С. 144-149.
3. Крошилин, А.В. Формирование базы знаний в экспертных системах медицинского назначения / С.Ю. Жулева, А.В. Крошилин, С.В. Крошилина // *Современные проблемы науки и образования*. – 2015. – № 2–2; URL: www.science-education.ru/129-21631.
4. Крошилин, А.В. Поддержка принятия решений на основе нечеткой логики в системах медицинского назначения / А.В. Крошилин, Е.Н. Долженко, С.Ю. Жулева, А.Н. Пылькин // *Биомедицинская радиоэлектроника*. – 2015. – №5. – С. 66-72.
5. Крошилин, А.В. Оверлейная модель пациента в медицинских системах поддержки принятия решений / С.Ю. Жулева, А.В. Крошилин, С.В. Крошилина // *Фундаментальные исследования*. – 2015. – № 9–2. – С. 261-265.
6. Крошилин, А.В. Оценка факторов риска, влияющих на результаты лечения впервые выявленных больных туберкулезом легких / А.В. Крошилин, Э.Б. Цыбикова, Е.Н. Долженко, Л.И. Виноградова, Т.П. Сабгайда // *Туберкулез и болезни легких*. – 2014. – №12. – С. 40-46.
7. Крошилин, А.В. Регулирование материальных потоков в интеллектуальных системах управления / А.В. Крошилин, С.В. Крошилина // *Вестник РГРТУ*. – 2013. – № 43. – С.100-105.
8. Крошилин, А.В. Построение методики автоматизированной оценки состояния здоровья пациента / А.В. Крошилин, Е.Н. Долженко, С.В. Крошилина // *Фундаментальные исследования*. – 2012. – №6–1. – С. 128-132.
9. Крошилин, А.В. Построение модели оценки состояния здоровья пациента в нечетких медицинских экспертных системах / А.В. Крошилин, С.В. Крошилина // *Вестник РГРТУ*. – 2012. – № 41. – С.64-70.
10. Крошилин, А.В. Интеллектуальная аналитическая система мониторинга пациентов на основе нечеткой кластеризации для медицинских учреждений «Диспансер» ver. 4.0 / А.В. Крошилин, Л.И. Виноградова // *Программа для ЭВМ №2010612339*. – 2010.
11. Крошилин, А.В. Система поддержки принятия решений на основе нечеткой логики «Stacionar» ver.5.4 / А.В.Крошилин, Л.И.Виноградова // *Программа для ЭВМ №2010613280*. – 2010.
12. Крошилин, А.В. Проектирование систем поддержки принятия решений для оценки состояния здоровья пациентов в условиях неопределенности / А.В. Крошилин, С.В. Крошилина, А.Н. Пылькин // *Информатика и системы управления*. – 2010. – №4(26). – С. 82-94.
13. Крошилин, А.В. Методология когнитивного анализа в вопросах автоматизации управления материальными потоками / А.В. Крошилин, С.В. Крошилина, А.Н. Пылькин // *Информатика и системы управления*. – 2012. – №2(32). – С. 138-149.
14. Крошилин, А.В. Построение систем поддержки принятия решений с применением нечетко-множественного подхода / А.В. Крошилин, С.В. Крошилина, А.Н. Пылькин // *Известия высших учебных заведений. Основные проблемы полиграфии и издательского дела*. – 2012. – №5. – С. 109-117.
15. Крошилин, А.В. Алгоритм модифицированного метода нечеткой кластеризации в задаче эффективного мониторинга статистической информации / А.В. Крошилин, С.В. Крошилина // *Казанская наука*. – 2010. – Вып. 1. – С. 150-154.
16. Крошилин, А.В. Применение семантических сетей, построенных на нечетких отношениях, в системах поддержки принятия решений при анализе развития проблемных ситуаций / А.В. Крошилин, С.В. Крошилин, С.В. Крошилина // *Информационные ресурсы России*. – 2010. – №5(117). – С.33-36.
17. Крошилин, А.В. Формализация экспертных знаний в системах поддержки принятия решений / А.В. Крошилин, С.В. Крошилина // *Ползуновский вестник. Измерение, информация,*

моделирование: проблемы и перспективы технологий разработки и применения (тематический выпуск). – Барнаул. – 2010. – №2. – С. 181-185.

18. Крошилин, А.В. Особенности построения систем поддержки принятия решений на основе нечеткой логики / А.В. Крошилин, А.В. Бабкин, С.В. Крошилина // Научно-технические ведомости СПбГПУ. – 2010. – №2(97). – С. 58-63.

19. Крошилин, А.В. Применение нечеткой кластеризации для эффективного мониторинга статистической информации в системах неопределенности / А.В. Крошилин // Вестник РГРТУ. – 2010. – Вып. 32. – С. 71-76.

20. Крошилин, А.В. Применение нечетко-множественного подхода для построения нечетких экспертных систем/А.В. Крошилин,С.В.Крошилина//Вестник РГРТУ.-2007.-Вып.22.-С.69-73.

Свидетельства о государственной регистрации программ

21. Крошилин, А.В. Программный комплекс управления базой данных статистической информации для систем поддержки принятия решений «Эксперт» ver. 1.27 /А.В. Крошилин, С.В. Крошилина // Программа для ЭВМ №2013611665. – 2013.

22. Крошилин, А.В. База данных аналитической информации для систем поддержки принятия решений «Эксперт2»ver.2.04 /А.В. Крошилин, С.В. Крошилина//БД №2014620327.– 2014.

23. Крошилин, А.В. Система поддержки принятия решений на основе нечеткой логики «Эксперт 3. Построение модели предметной области и модели прогнозирования» ver.3.07 /А.В. Крошилин, А.Н. Пылькин // Программа для ЭВМ №2015611714. – 2015.

24. Крошилин, А.В. Программный комплекс интеллектуального управления товарными запасами на основе нечеткого когнитивного анализа «Alf-Zdr. Товарный запас» ver. 1.4 /А.В. Крошилин, С.В. Крошилина // Программа для ЭВМ №2011613086. – 2011.

25. Крошилин, А.В. Интеллектуальная информационно-поисковая система “AnNet” / А.В. Крошилин // Программа для ЭВМ №2003611163. – 2003.

Монография

26. Крошилин, А.В. Автоматизированный анализ деятельности предприятия с использованием семантических сетей: монография / А.В. Крошилин, И.Ю. Каширин, С.В. Крошилина. – М.: Горячая линия - Телеком, 2011. – 140 с.

Материалы зарубежных конференций (базы Scopus или Web of Science)

27. Kroshilin, A.V. Intellectual material flows management in expert systems / A.V. Kroshilin, S.V. Kroshilina, A.N. Pytkin // 2014 International conference on computer technologies in physical and engineering applications (ICCTPEA). Editor: E. I. Veremey. – SPb.: IEEE (IEEE Catalog number CFP14BDA-USB) . – 2014. – P. 89-90.

28. Kroshilin, A.V. Solution of problems of intellectual materials management in expert systems / A.V. Kroshilin, S.V. Kroshilina//Modern informatization problems: Proceedings of the XIX International open science conference.–Yelm,WA,USA:Science Book Publishing House,2014.–P.122-125.

29. Kroshilin, A.V. Structural diagram of the automated information system of new generation of medical institution / A.V. Kroshilin, S.V. Kroshilina, A.N. Pytkin //European Science and Technology: materials of the IV International research and practice conference.–Munich, 2013.– P.241-244.

Статьи в других изданиях

30. Крошилин, А.В. Особенности медицинских информационных систем / Д.Х. Доан, А.В. Крошилин, С.В. Крошилина // Информационные технологии. – Рязань:РГРТУ,2015.–С.43-48.

31. Крошилин, А.В. Глава 2. Автоматизированная информационная система медицинского учреждения на основе нечеткой логики «Эксперт» / А.В. Крошилин, С.В. Крошилина, А.Н. Пылькин // Математические и компьютерные методы в медицине, биологии и экологии: коллективная монография.–Вып.3.–Пенза:Приволжский дом знаний; М.:МИЭМП,2014.–С.31-39.

32. Крошилин, А.В. Обзор подходов к организации работы медицинских информационных систем / Д.Х. Доан, А.В. Крошилин, С.В. Крошилина // Математическое и программное обеспечение вычислительных систем. – Рязань: РГРТУ, 2014. – С. 32-35.

33. Крошилин, А.В. Применение когнитивного анализа в системах поддержки принятия решений / А.В. Крошилин, С.В. Крошилина, А.Н. Пылькин // Задачи системного анализа, управления и обработки информации. – М.: МТИ "ВТУ", 2014. – С. 130-137.

34. Крошилин, А.В. Глава 4. Алгоритм модифицированного метода нечеткой кластеризации в интеллектуальных медицинских системах / А.В. Крошилин, С.В. Крошилина, А.Н. Пылькин //Математические и компьютерные методы в медицине, биологии и экологии: коллективная монография. – Вып.2.- Пенза: Приволжский дом знаний; М.: МИЭМП, 2013.–С.54-65.

35. Крошилин, А.В. Структурная схема управления материальными потоками в интеллектуальных экспертных системах / А.В. Крошилин, С.В. Крошилина // Грани познания. – Уфа: Академия ВЭГУ, 2013. – №2 (20). – С. 202-206.

36. Крошилин, А.В. Глава 2. Применения нечеткой логики для поддержки принятия управленческих решений в медицинских экспертных системах / А.В. Крошилин, С.В. Крошилина, А.Н. Пылькин // Математические и компьютерные методы в медицине, биологии и экологии: коллективная монография. – Пенза: Приволжский дом знаний; М.: МИЭМП, 2012.– С. 29-44.

37. Крошилин, А.В. Построение нечетких когнитивных карт в интеллектуальных системах / А.В. Крошилин, С.В. Крошилина //Математическое и программное обеспечение вычисли-

тельных систем. – Рязань: РГРТУ, 2012. – С. 9-11.

38. Крошилин, А.В. Обзор существующих систем поддержки принятия решений в медицине / А.В. Крошилин, С.В. Крошилина // Математическое и программное обеспечение вычислительных систем. – Рязань: РГРТУ, 2012. – С. 188-189.

39. Крошилин, А.В. Обзор способов формирования когнитивных карт в системах поддержки принятия решений / А.В. Крошилин, С.В. Крошилина // Программные информационные системы. – Рязань: РГРТУ, 2011. – С. 20-24.

40. Крошилин, А.В. Многомерный анализ данных для аптечных учреждений // Программные информационные системы / А.В. Крошилин, С.В. Крошилина. – Рязань: РГРТУ, 2010. – С. 103-107.

41. Крошилин, А.В. Обзор существующих медицинских экспертных систем / А.В. Крошилин, С.В. Крошилина // Математическое и программное обеспечение вычислительных систем. – Рязань: РГРТУ, 2010. – С. 122-125.

42. Крошилин, А.В. Некоторые подходы к обработке информации в медицинских экспертных системах принятия решений / А.В. Крошилин, С.В. Крошилина // Математическое и программное обеспечение вычислительных систем. – Рязань: РГРТУ, 2010. – С. 130-133.

43. Крошилин, А.В. Обзор существующих автоматизированных систем анализа деятельности предприятия и выявления их основных недостатков / А.В. Крошилин, С.В. Крошилина // Математическое и программное обеспечение информационных систем. – М.: Горячая линия-Телеком, 2006. – С. 64-67.

44. Крошилин, А.В. Некоторые аспекты построения запроса пользователя в интеллектуальной системе / А.В. Крошилин, С.В. Крошилина // Новые информационные технологии. – Рязань: РГРТА, 2002. – С. 117-119.

45. Крошилин, А.В. Новые шаги по внедрению автоматизированного учета в Рязанском областном клиническом противотуберкулезном диспансере / А.В. Крошилин, Л.И. Виноградова // *Анналы рязанской фтизиатрии*. – Рязань. – 2001. – №2. – С. 29-32.

46. Крошилин, А.В. Внедрение информационных технологий в Рязанском областном клиническом противотуберкулезном диспансере / А.В. Крошилин, Л.И. Виноградова // *Анналы рязанской фтизиатрии*. – Рязань. – 2000. – №1. – С. 33-43.

Материалы и тезисы выступлений на конференциях

47. Крошилин, А.В. Подходы к проблеме поддержки принятия решений в медицине / А.В. Крошилин, Д.Х. Доан // Математические методы в технике и технологиях: материалы XXVIII Международной научной конференции (секция 9: Математические методы и задачи в медицине и биофизике), ММТГ-28. – Рязань: РГРТУ, 2015.

48. Крошилин, А.В. Автоматизированная информационная система поддержки принятия решений в медицинском учреждении / А.В. Крошилин, С.В. Крошилина // Элементная база отечественной радиоэлектроники: импортозамещение и применение им. О. В. Лосева: материалы Российско-Белорусской научно-технической конференции (секция 8: Микро- и радиоэлектроника в медицине). – Н. Новгород: ННГУ, 2015.

49. Доан Д.Х., Крошилин А.В., Крошилина С.В. Задачи и основы построения систем поддержки принятия решений в медицине / А.В. Крошилин, С.В. Крошилина, Д.Х. Доан // Проблемы передачи и обработки информации в сетях и системах телекоммуникаций: материалы 18-й Международной науч.-техн. конф. – М: Горячая линия-Телеком 2015. – 332 с. (291-293)

50. Крошилин, А.В. Описание мониторинга статистических данных в медицинских информационных системах / А.В. Крошилин, С.В. Крошилина, Д.Х. Доан // Новые информационные технологии в научных исследованиях: материалы XX Всероссийской научно-технической конференции молодых ученых и специалистов. – Рязань: РГРТУ, 2015.

51. Крошилин, А.В. Основные подходы к построению интеллектуальной информационной системы медицинского учреждения / А.В. Крошилин, С.В. Крошилина, А.Н. Пылькин // Школа-семинар. – М.: Московский технологический институт, 2014.

52. Крошилин, А.В. Основные подходы моделирования систем с применением когнитивных карт / А.В. Крошилин, С.В. Крошилина // Наука и образование в жизни современного общества: материалы Международной научно-практической конференции. – Тамбов: ТРОО "Бизнес-Наука-Общество", 2013. – С. 87-88.

53. Крошилин, А.В. Построение методики автоматизированной оценки состояния здоровья пациента / А.В. Крошилин, С.В. Крошилина // Инновационные медицинские технологии: материалы Международной научной конференции. – М.: РАЕ, 2012.

54. Крошилин, А.В. Методика проектирования систем поддержки принятия решений на основе нечеткой логики для оценки состояния здоровья пациентов «Stacionar» / А.В. Крошилин // Биотехнические, медицинские и экологические системы и комплексы («Биомедсистемы-2011»): материалы XXIV Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов. – Рязань: РГРТУ, 2012. – С. 50-52.

55. Крошилин, А.В. Построение математической модели оценки состояния здоровья пациента / А.В. Крошилин, С.В. Крошилина // Методы и алгоритмы прикладной математики в технике, медицине и экономике: материалы XII Международной научно-практической конференции. – Новочеркасск: ЮРГТУ, 2012. – С. 43-44.

56. Крошилин, А.В. Принципы построения автоматизированной информационной системы медицинского учреждения / А.В. Крошилин, С.В. Крошилина // Новые информационные технологии в научных исследованиях и в образовании: материалы XVII Всероссийской научно-технической конференции молодых ученых и специалистов. – Рязань: РГРТУ, 2012. – С. 11-12.
57. Крошилин, А.В. Управление потоками данных в медицинской информационной системе / А.В. Крошилин, С.В. Крошилина // Биотехнические, медицинские и экологические системы и комплексы («Биомедсистемы-2012»): материалы XXV Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов. – Рязань: РГРТУ, 2012. – С.169-171.
58. Построение интеллектуальной автоматизированной информационной системы медицинского учреждения / А.В. Крошилин, С.В. Крошилина // III тысячелетие - Новый мир: труды Международного форума по проблемам науки, техники и образования. – М.: Академия наук о Земле, 2012. – С. 95-96.
59. Крошилин, А.В. Автоматизированная оценка состояния здоровья пациента в медицинских экспертных системах / А.В. Крошилин, С.В. Крошилина, А.Н. Пылькин // 66-я Всероссийская конференция, посвященная Дню радио, "Научная сессия". – М., 2011. – С.397-398.
60. Крошилин, А.В. Построение методики автоматизированной оценки состояния пациентов в медицинских экспертных системах / А.В. Крошилин, С.В. Крошилина // Измерение, контроль, информатизация: материалы XII Международной научно-технической конференции. – Барнаул: АлГТУ, 2011. – С. 206-210.
61. Крошилин, А.В. Система поддержки принятия решений в медицинских учреждениях на основе нечеткой логики «Stacionar» / А.В. Крошилин, С.В. Крошилина // Информационные и управленческие технологии в медицине и экологии: материалы V Всероссийской научно-технической конференции. – Пенза: Приволжский дом знаний, 2011. – С. 43-45.
62. Крошилин, А.В. Мониторинг статистической информации в медицинских учреждениях на основе нечеткой кластеризации / А.В. Крошилин, А.Н. Пылькин // Информационные системы и технологии (ИСТ-2010): материалы XVI Международной научно-технической конференции. – Н.Новгород: ННТУ, 2010. – С. 363-364.
63. Крошилин, А.В. Интеллектуальная аналитическая система мониторинга пациентов на основе нечеткой логики для медицинских учреждений «Диспансер» / А.В. Крошилин // Биотехнические, медицинские и экологические системы и комплексы («Биомедсистемы-2010»): материалы XXIII Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов. Часть 2. – Рязань: РГРТУ, 2010. – С. 398-402.
64. Крошилин, А.В. Некоторые аспекты построения систем поддержки принятия решений для оценки состояния здоровья пациентов и выявления эпидемиологических ситуаций / А.В. Крошилин, С.В. Крошилина, А.Н. Пылькин // Исследование, разработка и применение высоких технологий в промышленности: сборник трудов X Международной научно-практической конференции. – СПб.: Политехнический университет. – 2010. – С. 68-71.
65. Крошилин, А.В. Интеллектуальная аналитическая система оценки состояния здоровья пациентов на основе нечеткой логики для медицинских учреждений «Диспансер» / А.В. Крошилин, С.В. Крошилина // III тысячелетие – Новый мир: труды Международного форума по проблемам науки, техники и образования. – М.: Академия наук о Земле. – 2010. – С. 162-163.

Крошилин Александр Викторович

МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ МЕДИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ДЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В СИСТЕМАХ МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Подписано в печать _____ . Формат бумаги 60×84 1/16.

Бумага офсетная. Печать офсетная. Усл. печ. л. 2,0.

Тираж 120 экз. Заказ.

Рязанский государственный радиотехнический университет.

390005, г. Рязань, ул. Гагарина, 59/1.

Редакционно-издательский центр РГРТУ.