

На правах рукописи



ЖУЛЕВА СВЕТЛАНА ЮРЬЕВНА

**МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ УПРАВЛЕНИЯ
МАТЕРИАЛЬНЫМИ ПОТОКАМИ НА ОСНОВЕ КОГНИТИВНОГО
ПОДХОДА В СИСТЕМАХ МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

Специальность 2.2.12. – «Приборы, системы и изделия
медицинского назначения»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Рязань 2022

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина».

Научный руководитель: **Крошилин Александр Викторович,**
доктор технических наук, доцент,
профессор кафедры «Вычислительная и прикладная математика» ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина», г. Рязань

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

Ивахно Наталия Валериевна,
доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Газовая динамика» ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет», г. Тула

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск

Защита диссертации состоится « **26** » мая **2022** г. в **12 ч 00 мин** на заседании диссертационного совета **24.2.375.03** в ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина» по адресу: **390005, г. Рязань, ул. Гагарина, 59/1.**

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина» или на сайте <http://www.rsreu.ru>

Автореферат разослан «___» апреля 2022 г.

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



Г.В. Овечкин

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Эффективность управления медицинским учреждением и профессиональная работа его специалистов значительно повышается за счет внедрения информационных технологий и систем медицинского назначения. Весьма важным звеном системы здравоохранения и систем медицинского назначения являются медицинские информационные системы (МИС), которые должны учитывать постоянно возникающие факторы воздействия (условия неполноты и неопределенности исходных данных) на протекающие медико-технологические процессы, позволяющие обеспечивать высокую адекватность и обоснованность принимаемых решений, а также включая их исследование и разработку. Кроме того, необходимо иметь ввиду реальную ограниченность временных, материальных и финансовых ресурсов медицинского учреждения. МИС позволяют автоматизировать процессы для повышения доступности и качества оказания медицинской помощи населению, сокращения бумажного документооборота, уменьшения затрат на лечение, а также оптимизации государственных расходов на материально-техническое обеспечение отрасли в целом.

При разработке систем медицинского назначения в условиях неопределенности (в значительной степени) исходных данных применение когнитивного подхода интеллектуального анализа данных на основе теории нечетких множеств открывает возможности для эффективной обработки нечеткой медицинской информации. Одним из важных среди указанных является метод построения нечетких когнитивных карт. Представление медико-технологических процессов в указанных системах в виде моделей является основой проектирования систем поддержки принятия медицинских решений (СППМР). Это способствует повышению эффективности как принятия медицинских решений (ПМР), так и управления медицинским учреждением в целом. Процесс ПМР укрупненно можно разделить на два взаимосвязанных направления: работа с пациентами и административные мероприятия, в том числе и управление медицинскими материальными потоками (планирование и поставки медицинского оборудования, распределение лекарственных препаратов, управление коечным фондом, работой медицинского персонала, пищеблока и др.). Совместное использование методов теории универсальных алгебр, нечетких множеств и нечеткой логики, когнитивного анализа дает возможность создать принципиально новые МИС для решения широкого круга задач в условиях неполноты и неопределенности исходных данных и обеспечения эффективности принимаемых решений.

Степень разработанности темы диссертационного исследования. Современные МИС позволяют накапливать информацию о материальных медицинских ресурсах, что можно использовать для эффективного управления медицинскими материальными потоками.

Теория построения материальных потоков основывается на знаниях, характеризующих исследуемую область с использованием разнообразных инструментов искусственного интеллекта, позволяющих разработать оптимальную информационную систему (В.В. Круглов, Д. Рутковская, А.А. Усков, А.В. Крошилин и

др.).

Основой для решения задач управления медицинскими материальными потоками является теория **когнитивного анализа** на основе использования **когнитивных карт** (В.И. Максимов, С.В. Коврига, Б. Коско, А.А. Кулинич, В.Б. Силов и др.). Для решения ряда задач со сложно структурируемыми связями целесообразнее использовать **нечеткие когнитивные карты**, которые положительно показали себя при анализе специализированных материальных потоков.

Важное место при анализе медицинской информации, носящий неопределенный характер уделяется использованию **теории нечетких множеств**, большой вклад в развитие которой внесли: А.Н. Аверкин, А.В. Алексеев, А.Н. Борисов, Л.А. Заде, А. Кофман, Д.А. Поспелов, Т.Л. Саати, Р.Р. Ягер и др. Реализация алгоритмов нечеткого вывода освещена в работах Х. Ларсена, Е. Мамдани, Й. Цукамото.

В результате анализа (исследования) целесообразно применение в медицинских учреждениях МИС, учитывающих обработку большого количества разного рода динамически изменяющейся информации, работа которых основана на использовании существующих методов и алгоритмов для управления медицинскими материальными потоками в условиях неполноты предоставленной информации на основе теории нечетких множеств и когнитивного анализа. Это делает процесс ПМР качественным, своевременным и удовлетворяющим всем потребностям медицинской организации.

Цели и задачи диссертационной работы. Целью исследования является разработка методов и алгоритмов управления медицинскими материальными потоками на основе когнитивного подхода для повышения эффективности функционирования медицинских учреждений.

Для достижения цели необходимо решить **следующие задачи**:

1. Проанализировать проблемы, возникающие при построении систем управления медицинскими материальными потоками в условиях неопределенности и особенности разработки МИС и СПМР.

2. Провести анализ МИС и систем управления медицинскими материальными потоками, а также основных принципов их представления в интеллектуальных системах медицинского назначения. Обосновать использование методов когнитивного анализа и когнитивных карт для решения задач управления медицинскими материальными потоками. Разработать способы построения нечетких когнитивных карт (НКК).

3. Разработать метод для управления медицинскими материальными потоками и алгоритм, реализованные на основе выборки обучения предложенной НКК с целью повышения адекватности и точности построения моделируемых медицинских предметных областей (ПрО). Провести анализ устойчивости разработанной НКК.

4. Разработать программный комплекс поддержки принятия решений на основе предложенной НКК, позволяющий отображать медико-технологические процессы и анализировать поведение систем медицинского назначения для раз-

личных медицинских ПрО. Разработать метод формирования модели медицинской ПрО на основе сформированной НКК.

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

Предметом исследования являются: модели СППМР с использованием интеллектуальных систем медицинского назначения на основе нечеткого вывода, методы и алгоритмы когнитивного анализа на базе НКК в задачах управления медицинскими материальными потоками.

Научная новизна результатов работы.

1. Разработана нечеткая когнитивная карта (НКК) для реализации модели медицинской ПрО, позволяющая использовать теорию нечетких множеств при ее построении, в которой нечеткими множествами представляются концепты и взаимообусловленность между концептами.

2. Разработаны новый метод для управления медицинскими материальными потоками и алгоритм, реализованные на основе нечеткой когнитивной карты, позволяющие повысить адекватность и точность построения моделируемых медицинских систем за счет использования собранных статистических данных медико-технологического процесса в дискретные моменты времени различных состояний медицинской системы.

3. Предложена динамическая модель для разработанной НКК, позволяющая проводить анализ поведения сложных систем медицинского назначения, описывающих различные медицинские материальные потоки на основе учета нелинейного характера взаимообусловленности концептов в корреляции концепта на выходе от нечеткого состояния концепта на входе. Предложены модифицированные системные показатели устойчивости – аналитические показатели НКК модели, существенная особенность которых состоит в способе их формирования на базе значений нечеткой транзитивно-замкнутой матрицы взаимообусловленности концептов, а также ориентация на формирование мотивационной базы поддержки принятия медицинских решения.

4. Предложена модифицированная структура системы управления медицинскими материальными потоками на основе когнитивного анализа, обеспечивающая поддержку принятия решения при управлении медицинским персоналом с использованием НКК с возможностью моделирования процессов в динамике и анализа устойчивости НКК.

Практическая значимость. Представлена методика построения моделей на основе математического аппарата НКК, которая дает возможность реализовывать комплексные многокритериальные интеллектуальные СППМР. На основе предложенной НКК разработан способ формирования модели медицинской ПрО, описаны основные схемы построения программного комплекса.

Разработан и внедрен в деятельность медицинского учреждения программный комплекс ППР на основе нечеткой логики «Эксперт 5. Управление медицинскими материальными потоками с применением когнитивного анализа», предназначенный для осуществления контроля, проведения мониторинга, ведения

учета оперативной информации и автоматизации информационных процессов в учреждениях медицинской сферы. Комплекс позволяет оказывать консультационную помощь руководству медицинским учреждением в вопросах эффективного управления материальными ресурсами (распределение медицинской нагрузки персонала).

Методы исследования. Теоретические положения, выводы и экспериментальные результаты диссертационной работы получены с использованием следующих теорий: материальных потоков, когнитивного анализа, нечетких множеств, нечеткой логики, принятия решений, построения МИС.

Основные положения, выносимые на защиту.

1. НКК для управления медицинскими материальными потоками, позволяющая использовать теорию нечетких множеств при ее построении, в которой нечеткими множествами представляются концепты и взаимообусловленность между ними, что позволяет отражать тип распространения взаимовлияния концептов.

2. Метод и алгоритм, реализованные на основе выборки обучения НКК, позволяющие повысить адекватность и точность построения моделируемых медицинских систем за счет использования собранных статистических данных медико-технологического процесса в дискретные моменты времени различных состояний медицинской системы. Ошибка первого рода не превышает 0,1, а ошибка второго рода не превышает 0,09, что подтверждает состоятельность и эффективность разработанного алгоритма обучения НКК.

3. Динамическая модель для разработанной НКК, позволяющая проводить анализ поведения сложных систем медицинского назначения, описывающих различные медицинские материальные потоки на основе учета нелинейного характера взаимообусловленности концептов в корреляции концепта на выходе от нечеткого состояния концепта на входе. На основе предложенной модели решена задача распределения нагрузки медицинского персонала с эффективностью на уровне 91,7 %.

4. Структура СППМР в системах медицинского назначения для управления медицинскими материальными потоками на основе нечетких множеств, нечеткой логики и когнитивного анализа.

Достоверность и обоснованность полученных результатов подтверждается:

1) корректностью использования полученных выводов и подходов теорий нечетких множеств и нечеткой логики при многокритериальном анализе статистической медицинской информации в условиях неопределенности исходных данных;

2) использованием разработанных модифицированных методов, алгоритмов и моделей в СППМР для решения реальных прикладных задач;

3) использованием полученных результатов диссертационной работы в медицинской и учебной практике, подтвержденных актами внедрения.

Апробация работы. Результаты исследований докладывались и обсуждались на следующих международных и Всероссийских научных конференциях:

XXXIII Всероссийской научно-технической конференции «Биотехнические, медицинские и экологические системы, измерительные устройства и робототехнические комплексы – БИОМЕДСИСТЕМЫ-2020» (Рязань, 2020 г.); Международной научно-практической конференции «Научные механизмы решения проблем инновационного развития» (Уфа, 2017 г.); Международной научно-технической конференции «Новые технологии в научных исследованиях, проектировании, управлении, производстве» (Воронеж, 2017 г.); Международной научно-практической конференции «Современный взгляд на будущее науки» (Казань, 2016 г.); Международной научно-практической конференции «Новая наука: история становления, современное состояние, перспективы развития» (Пермь, 2017 г.); Международной научно-практической конференции «Традиционная и инновационная наука: история, современное состояние, перспективы» (Екатеринбург, 2017 г.); Международной научно-практической конференции «Вопросы образования и науки» (Тамбов, 2017 г.); Международной научно-практической конференции «Приоритетные направления развития образования и науки» (Чебоксары, 2017 г.); Всероссийской конференции студентов и молодых ученых с международным участием «Естественнонаучные основы медико-биологических знаний» (Рязань, 9-10 ноября 2017 г.); XXIX Всероссийской научно-технической конференции «Биотехнические, медицинские и экологические системы и комплексы. БИОМЕДСИСТЕМЫ – 2016». (Рязань, 7-9 декабря 2016 г.); XXII Международной научно-технической конференции «Информационные системы и технологии – ИСТ-2016» (Н. Новгород, 2016 г.); XXI Всероссийской НТК студентов, молодых ученых и специалистов «Новые информационные технологии в научных исследованиях – НИТ-2016» (Рязань, 16-18 ноября 2016 г.); XIX Всероссийской НТК студентов, молодых ученых и специалистов «Новые информационные технологии в научных исследованиях и в образовании – НИТ-2014» (Рязань, 13 ноября 2014 г.).

Реализация и внедрение результатов работы. Результаты исследований диссертационной работы внедрены в Государственном бюджетном учреждении Рязанской области «Областной клинический противотуберкулезный диспансер» (ГБУ РО ОКПТД), г. Рязань, а также использованы в учебном процессе РГРТУ на кафедре ВПМ. Использование результатов диссертационной работы на практике подтверждено соответствующими актами о внедрении. Получено свидетельство о регистрации программ для ЭВМ и баз данных.

Публикации. По итогам исследований диссертационной работы опубликованы 23 работы, в том числе: 9 статей из перечня ВАК рецензируемых научных журналов; 13 тезисов докладов на международных и Всероссийских научно-технических конференциях; 1 свидетельство о регистрации программ для ЭВМ и баз данных.

Личный вклад автора. Основные научные результаты диссертационной работы получены автором самостоятельно. В работах, выполненных в соавторстве, соискателю принадлежит основная роль в формулировке задач, обосновании методов их решения, анализе полученных результатов.

Содержание диссертационной работы соответствует паспорту научной

специальности: 2.2.12. – Приборы, системы и изделия медицинского назначения, пункт 2.

Структура работы. Диссертация содержит 125 страниц основного текста и состоит из введения, четырех глав, заключения, списка сокращений, списка литературы из 118 наименований и приложения. В диссертацию включено 13 таблиц и 46 рисунков.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

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

В первой главе проанализированы основные принципы построения МИС, СППМР и систем управления медицинскими материальными потоками. В настоящее время создание МИС обосновано увеличением объемов медицинской информации, необходимостью ее своевременной обработки. Процесс принятия медицинских решений осложняется множеством влияющих факторов.

Проведенный анализ показал преимущества теории нечетких множеств для решения проблем поддержки принятия медицинских решений в условиях неопределенности. Для медицинской ПрО существует необходимость в разработке методов и алгоритмов интеллектуализации СППМР, направленных на решение задачи управления медицинским материальным потоками. На формирование материального потока влияют различные факторы, часто трудно предсказуемые.

Проанализированы особенности СППМР в медицине. Перечислены задачи и функции СППМР. Приведен обзор СППМР. Указаны недостатки существующих СППМР, которые необходимо учитывать при разработке. Приведена обобщенная структурная схема СППМР. Предложено применение теории нечетких множеств и нечеткой логики для формализации нечетких данных. Обозначен подход к пониманию нечетких множеств, а также понятий «нечеткая переменная», «лингвистическая переменная» в медицинской предметной области. Показано, что перечисленные задачи могут успешно решаться с применением теории когнитивного анализа.

Во второй главе раскрывается применение когнитивного анализа в задачах управления медицинскими материальными потоками в интеллектуальных системах медицинского назначения. Проведенные исследования выявили, что архитектура стандартных информационных систем для анализа материального потока часто является неэффективной при большом объеме статистических данных. При моделировании медицинских предметных областей, конкретно, управления медицинскими материальными потоками, наиболее эффективным является использование нечетких когнитивных карт.

Когнитивный анализ («когнитивная структуризация») является одним из наиболее мощных инструментов для исследования нестабильной и слабоструктурированной среды. К таким средам можно отнести задачи, связанные с медицинской сферой, где необходимо сформулировать задачу, проанализировать сложившуюся ситуацию, определить влияющие факторы и оценить их взаимообусловленность. Для когнитивного анализа наиболее распространенной формой

представления медицинских материальных потоков являются когнитивные карты (КК), с помощью которых в задаче управления медицинскими материальными потоками возможно формализовать объекты, их структурные связи и осуществить построение модели медицинской ПрО.

КК – это модель отображения знаний группы экспертов о динамических, плохо определенных ситуациях, представленную однородной семантической сетью, в которой множество факторов взаимообусловлены причинно-следственными отношениями двух типов: положительными (снижаются значения фактора причины) и отрицательными (снижаются значения фактора следствия). Шкала значений определяет оценку, а ориентированный граф представляет КК.

Схема формирования и применения КК для СППМР показана на рис. 1.

Основные этапы построения КК в медицинской ПрО:

1. Определить средства и способы формирования значений и состояний концептов медицинской ПрО.

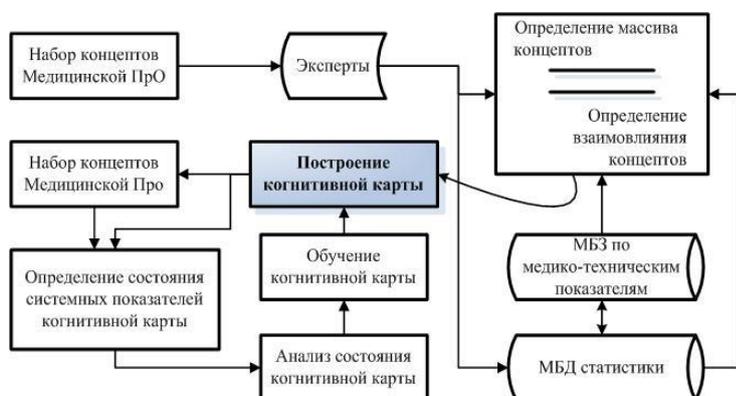


Рисунок 1 – Обобщенная схема работы медицинской системы на основе КК

2. Установить взаимообусловленность концептов и задать причинно-следственные отношения концептов между ними.

3. Определить способ накопления информации по взаимообусловленности группы входных и одного выходного концепта ПрО.

4. Указать методы и способы распространения взаимовлияния внутри КК.

5. Для настройки и тестирования КК сформировать набор характеристик.

6. Сформировать модель системной динамики развития медицинской ПрО.

7. Выбрать алгоритм и организовать обучение КК медицинского материального потока.

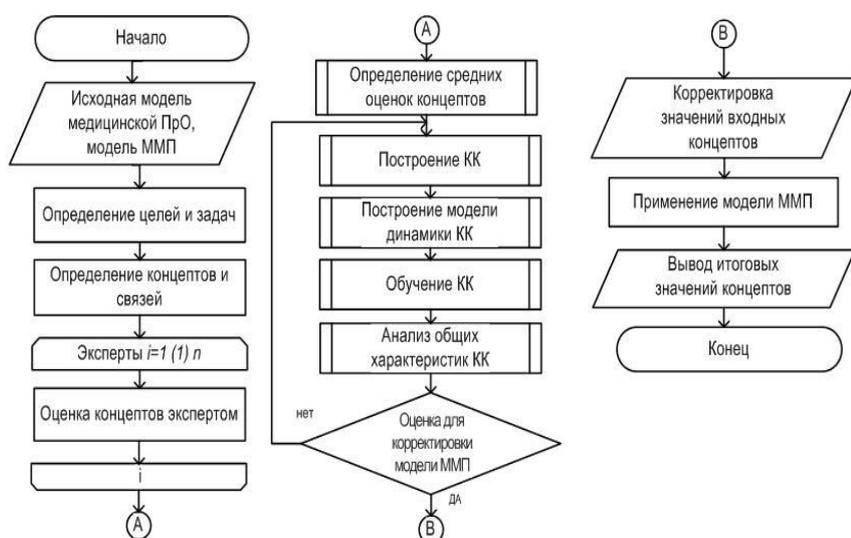


Рисунок 2 – Алгоритм моделирования медицинского материального потока с применением когнитивной карты

Для моделирования медицинского материального потока (ММП) разработан алгоритм применения КК, представленный на рис. 2. Когнитивная карта представляется причинно-следственной сетью, отражающей медицинскую ПрО (медицинский материальный поток): $KK = \langle C, U \rangle$, где $C = \{c_1, c_2, \dots, c_n\}$ – множество объектов модели ПрО (концепты), $U =$

$\{1,0\}$ – задающее взаимообусловленность объектов бинарное отношение на множестве S . Число концептов n для формирования адекватной модели не превышает 40-50. Объекты модели ПрО c_i и c_j связаны отношением U и представляются как: $c_i, c_j \in U$ или $c_i \cup c_j$. Изменение значения объекта-причины c_i предполагает изменение значения объекта-следствия c_j . Это значит: объект-причина c_i оказывает влияние на объект-следствия c_j . Уменьшение значения объекта-причины приводит к уменьшению значения объекта-следствия – это «торможение» (влияние отрицательное). В противном случае – это «усиление» (влияние положительное). Отношение $U = U_+ \cup U_-$, ($U_+ \not\subseteq U_- \& U_- \not\subseteq U_+$) – объединение пары непересекающихся подмножеств: где U_+ – множество положительных связей, U_- – множество отрицательных связей. Это позволяет задавать объекты как качественные (относительные) показатели.

Основные недостатки традиционных КК для моделирования медицинских ПрО: невозможность построения численной модели поведения сложной медицинской системы и ограниченность в применении моделируемых на их основе ПрО. Для решения перечисленных задач подходят нечеткие когнитивные карты (НКК). Алгоритм построения НКК для моделирования медицинского материального потока представлен на рис. 3.

В разрабатываемой НКК для описания взаимообусловленности на выходной

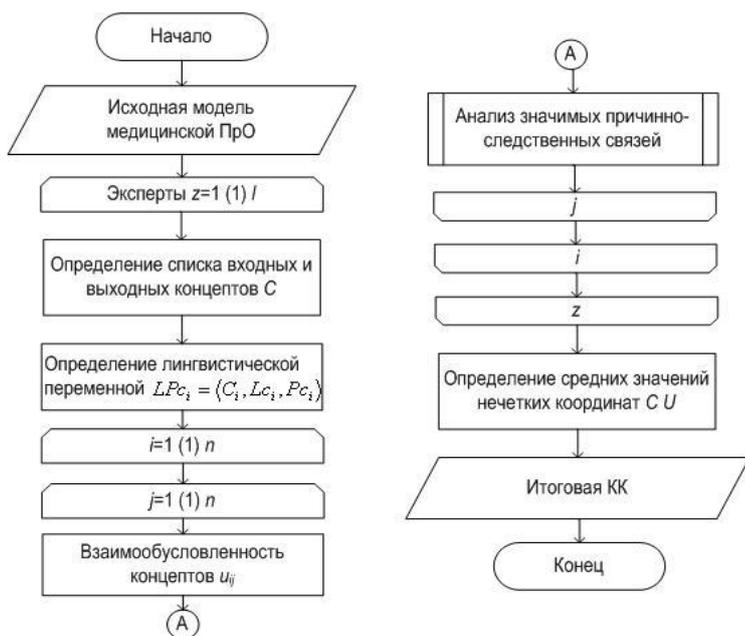


Рисунок 3 – Алгоритм формирования НКК для моделирования медицинского материального потока

концепт входных целесообразно применять операцию s -нормы по Заде: $S(a, b) = \max(a, b)$. Значение выходного концепта определяется по формуле: $C_i = S_{j=1}^{N_{vc}} C_j T u_{ij}$, где C_i – значение смежного выходного концепта с N_{vc} входными концептами C_j , S – s -норма, T – t -норма. В качестве t -нормы применим операции умножения.

Описание взаимообусловленности на входной концепт: $T(a, b) = \min(a, b)$.

Используя связки t -нормы по Заде, передачу взаимообусловленности концепта C_j на концепт C_i можно представить следующим выражением: $C_i = \min(C_j, u_{ij})$, где C_j – значение входного концепта, C_i – значение выходного концепта, u_{ij} – вес взаимообусловленности.

Транзитивное замыкание представляет наименьшее транзитивное множество анализируемого бинарного отношения и в матричном виде записывается выражением следующего вида: $\tilde{U} = \bigcup_{k=1}^{\infty} U^k$, где U^k представляет бинарные отношения пары концептов (a и b), имеющих цепочку U -связей длиной равной k .

Вычисляются значения степени нечетких матриц U^k : $U^k = U^{k-1} \times U$.

Влияние u_{ab} концепта c_a на концепт c_b записываем выражением:

$$u_{ab} = \max_{m=1}^M \min_{r \in R_m} (u_{r,r+1})$$

, где R_m – множество концептов, включенных в m -й путь, M – максимально допустимое количество путей, r – номер концепта из выбранного пути, начиная с a -го концепта и заканчивая b -ым концептом.

На основе показателя интенсивности взаимообусловленности объекта-причины на объект-следствие используется переход от классического представления отношения к нечеткому представлению отношения U , элементы u_{ij} при этом характеризуют направление («+» и «-») и вес (степень интенсивности) взаимообусловленности между объектами C_i и C_j : $u_{ij} = u(C_i, C_j)$, где C_j – значение входного концепта, C_i – значение выходного концепта, u_{ij} – нормированный показатель интенсивности взаимообусловленности (представляет собой характеристическую функцию отношения U).

В третьей главе рассматривается применение когнитивного анализа в задачах управления медицинскими материальными потоками. Главное внимание уделено разработке нечетких когнитивных карт для моделирования медицинских ПрО и на их основе – решению задачи распределения нагрузки медицинского персонала.

Перечень основных требований к предлагаемой НКК: 1) реализовать нечеткие связи между концептами (взаимовлияние), представляющиеся нечетким отображением входного концепта на выходной концепт; 2) формализовать нечеткие концепты, описывающие объекты ПрО; 3) из-за нелинейного характера системы необходимо в разрабатываемой карте реализовать динамическую модель, описывающую изменение системы под воздействием взаимовлияний концептов; 4) на наборе эталонных сценариев разработать алгоритм обучения НКК; 5) реализовать процедуру накопления взаимовлияния концептов.

В разрабатываемой НКК управления медицинскими материальными потоками, представленной на рис. 4, определим нечеткую сеть взаимовлияния концептов:

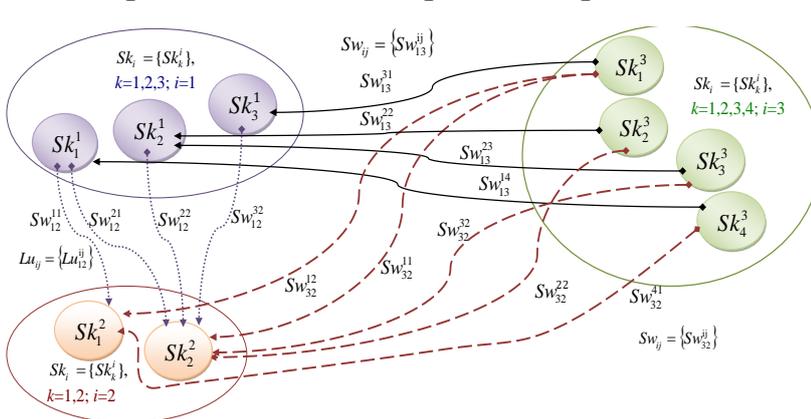


Рисунок 4 – Фрагмент графического представления НКК

$NKK = (K, W)$, где K – множество концептов, задаваемое кортежем: $K = \{K_i\}$ при $(i = 1, 2, \dots, n_K)$, где n_K – мощность множества концептов в системе, W – множество, содержащее связи между концептами, n_W – количество связей между концептами: $W = \{w_{ij}\}$ при $(j = 1, 2, \dots, n_W)$.

Для предлагаемой НКК медицинской ПрО нечеткий логический вывод выполним по алгоритму Мамдани: $\cup_{p=1}^{k_j} (\cap_{i=1}^n a_i = A_{i,jp} \text{ с весом } u_{jp}) \rightarrow b = B_j, j = 1, 2, \dots, m$, где m – количество выходных термов, n – количество входных концептов, k_j – количество значений терма. Нечеткими множествами задаются значения входного и выходного концептов. При $a_i = g$, где $g \in [g, \bar{g}]$, нечеткий входной терм

$A_{i,jp} = \int_{\underline{g}}^{\bar{g}} (\mu_{jp}(g)/g)dg$, где $\mu_{jp}(g)$ – функция принадлежности входного концепта x_i нечеткому терму. Функция принадлежности $\mu_j(b)$ выходного концепта $b \in [\underline{b}, \bar{b}]$ нечеткому терму $B_j = \int_{\underline{b}}^{\bar{b}} (\mu_j(b)/b)db$. Значения степеней принадлежности входного вектора $A^* = (a_1^*, a_2^*, \dots, a_n^*)$ для нечетких термов B_j , где

$$\mu_j(a^*) = \bigvee_{p=1, k_j} u_{jp} \cdot \bigwedge_{i=1, n} [\mu_{jp}(a_i^*)], j = \overline{1, m},$$

где \bigwedge логическая операция «И» (операция поиска минимума t -норма), \bigvee логическая операция «ИЛИ» (нахождение максимума, операция s -норма). Нечеткое множество

$\tilde{a} = \sum_{i=1}^m \mu_i(A^*)/B_i$, соответствующее входному вектору A^* . Переход к нечеткому множеству, заданному на интервале $[\underline{b}, \bar{b}]$, от нечеткого множества, которое задано универсальным множеством нечетких термов $\{B_1, B_2, \dots, B_m\}$, необходимо: «лимитировать» $\mu_j(A^*)$ до уровня функции принадлежности выходного концепта $\mu_j(b)$ и для полученных нечетких множеств выполнить операцию объединения (агрегирования)

$\tilde{b} = \text{agg} \left(\int_{\underline{b}}^{\bar{b}} (\min(\mu_j(A^*), \mu_j(b))/b)db \right)$. Значение выходного

концепта $b = \int_{\underline{b}}^{\bar{b}} b \cdot \mu_{\tilde{b}}(b)db / \int_{\underline{b}}^{\bar{b}} \mu_{\tilde{b}}(b)db$ вычисляется в результате операции дефаззификации нечеткого множества \tilde{b} , полученного согласно входному вектору A^* .

Для разработки НКК в задачах моделирования медицинских ПрО применен метод нечетких продукционных систем типа Мамдани, на основе которого реализован алгоритм (рис. 5), где a_i – входной концепт; b – выходной концепт.

При построении НКК необходимо осуществлять учет медицинских материальных потоков в динамике за счет накапливания связей между концептами на основе модели динамики Ф. Робертса.

В НКК $K_i(t_2) = K_i(t_1) + \sum_{j=1}^{Nkt} \Delta K_{ij}(t_2)$ – значение i -го концепта в соседние моменты времени в системе распределения нагрузки медицинского персонала, N_{kt} – количество $\Delta K_{ij}(t_2) = \gamma_{ij}[K_j(t_1), K_i(t_1), \Delta K_j(t_1)]$ – наращиваний концепта, где $\gamma_{ij}[\cdot]$ – нелинейная функция,

При построении НКК необходимо осуществлять учет медицинских материальных потоков в динамике за счет накапливания связей между концептами на основе модели динамики Ф. Робертса.

Для разработки НКК в задачах моделирования медицинских ПрО применен метод нечетких продукционных систем типа Мамдани, на основе которого реализован алгоритм (рис. 5), где a_i – входной концепт; b – выходной концепт.

При построении НКК необходимо осуществлять учет медицинских материальных потоков в динамике за счет накапливания связей между концептами на основе модели динамики Ф. Робертса.

В НКК $K_i(t_2) = K_i(t_1) + \sum_{j=1}^{Nkt} \Delta K_{ij}(t_2)$ – значение i -го концепта в соседние моменты времени в системе распределения нагрузки медицинского персонала, N_{kt} – количество $\Delta K_{ij}(t_2) = \gamma_{ij}[K_j(t_1), K_i(t_1), \Delta K_j(t_1)]$ – наращиваний концепта, где $\gamma_{ij}[\cdot]$ – нелинейная функция,

При построении НКК необходимо осуществлять учет медицинских материальных потоков в динамике за счет накапливания связей между концептами на основе модели динамики Ф. Робертса.

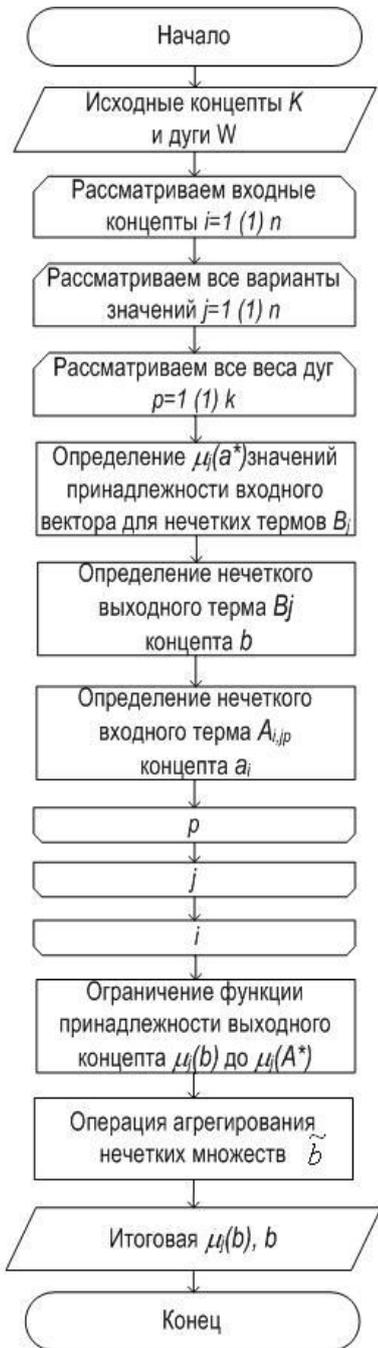


Рисунок 5 – Алгоритм учета взаимообусловленности входных концептов на выходные

представляющая воздействие на выходной концепт K_i входного концепта K_j . Это позволяет при нелинейном развитии ситуации моделировать поведение системы распределения нагрузки медицинского персонала.

Для медицинских ПрО в задачах управления медицинскими материальными потоками взаимообусловленность входных и выходных концептов является аддитивной и независимой. Поэтому, нечеткую систему с мультивходами можно заменить на совокупность нечетких систем с моноходом (рис. 6). В медицин-

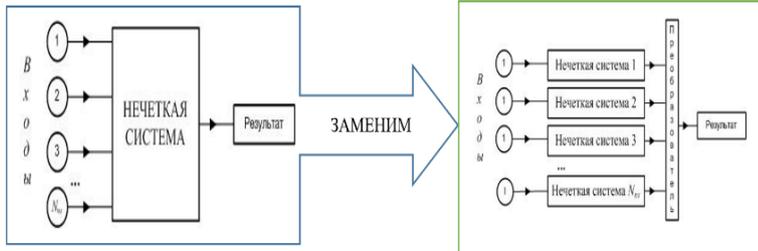


Рисунок 6 – Преобразование систем

ских нечетких системах с моноходом $\Delta\tilde{K}_{ij}(t_2)$ для корректной регистрации накапливания набора нечетких значений выходов необходимо использовать операцию нечеткого алгебраического сложения « \oplus ».

Тогда $\tilde{K}_i(t_2) = \tilde{K}_i(t_1) \oplus \left(\oplus \sum_{j=1}^{Nkt} \Delta\tilde{K}_{ij}(t_2) \right)$, где $\oplus \sum_{j=1}^{Nkt}$ нечеткая алгебраическая сумма, $\Delta\tilde{K}_{ij}(t_2) = \tilde{\gamma}_{ij} \left[\tilde{K}_j(t_1), \tilde{K}_i(t_1), \Delta\tilde{K}_j(t_1), \alpha\tilde{K}_i(t_1) \right]$ – нечеткое множество наращивания нечеткого смежного с выходным входного концепта, где нечеткие множества, содержащие: \tilde{K}_i – значения уровней i -го выходного концепта, \tilde{K}_j – значения уровней j -го входного концепта, $\Delta\tilde{K}_j$ – значение наращивания входного концепта, $\alpha\tilde{K}_i$ – содержащее оценку значимости выходного концепта на текущий момент времени t_1 и $\tilde{\gamma}_{ij} []$ – функция-специатор, определяет нечеткое представление типа один выход и четыре входа (рис. 7). Преобразуем систему на следующий момент времени t_2 в систему четыре входа и один выход

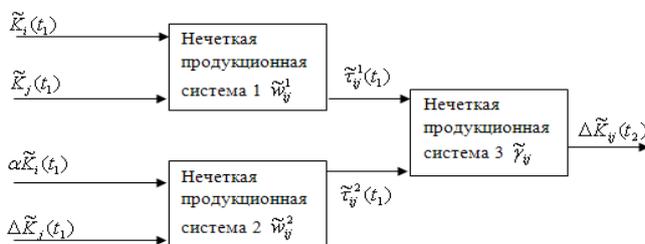


Рисунок 7 – Последовательная схема модели динамики управления материальными потоками

$\tilde{K}_i(t_2) = \tilde{K}_i(t_1) \oplus \left(\oplus \sum_{j=1}^{Nkt} \tilde{\gamma}_{ij} \left[\tilde{\tau}_{ij}^1(t_1), \tilde{\tau}_{ij}^2(t_1) \right] \right)$, где $\tilde{\tau}_{ij}^1(t_1) = \tilde{w}_{ij}^1 \left[\tilde{K}_i(t_1), \tilde{K}_j(t_1) \right]$ – степень взаимообусловленности концептов по их базовым состояниям, $\tilde{\tau}_{ij}^2(t_1) = \tilde{w}_{ij}^2 \left[\Delta\tilde{K}_j(t_1), \alpha\tilde{K}_i(t_1) \right]$ – степень взаимообусловленности наращивания входного и значимости выходного концептов по их базовым состояниям.

Для систем управления медицинским персоналом используем теорию нечетких продукционных систем для представления $\tilde{w}_{ij}^1, \tilde{w}_{ij}^2$. При этом каждой паре концептов лингвистических значений терм-множеств \tilde{K}_i, \tilde{K}_j , приращения $\Delta\tilde{K}_j$ и оценки $\alpha\tilde{K}_i$, определяем собственную функцию принадлежности к базовому нечеткому множеству (рис. 8). Каждый концепт задается значением из терм-множества для лингвистической переменной $SB\tilde{k}_j$ и $SB\tilde{k}_i = \langle \tilde{K}_i, S\tilde{k}_i, B\tilde{k}_i \rangle$.

Набор лингвистических значений степени взаимообусловленности между i -м и j -м концептами $SB\tilde{w}_{ij}^1 = \langle \tilde{w}_{ij}^1, S\tilde{w}_{ij}^1, B\tilde{w}_{ij}^1 \rangle$, представляется выражением для каждой его пары $S\tilde{w}_{ij}^1 = \{S\tilde{w}_{kh}^{1ij}\}$ при $(k = 1,2,2,3,3; h = 1,1,2,2,3)$,

Нечеткие правила для модели динамики НКК в нечетких продукционных системах представим в виде:

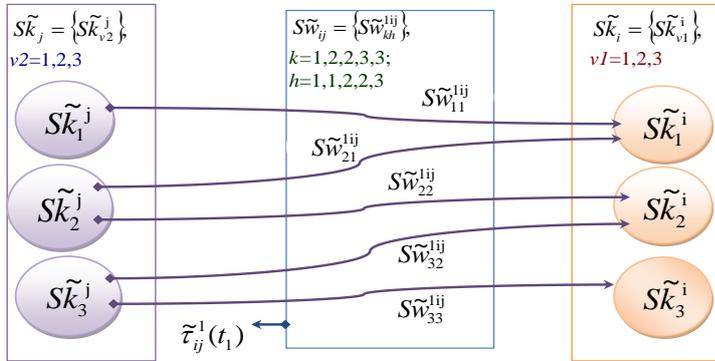


Рисунок 8 – Фрагмент воздействия входного концепта на выходной в модели динамики

ЕСЛИ $(\tilde{K}_j = Sk_j^j)$ И $(\tilde{K}_i = Sk_i^i)$ ТОГДА $\tilde{r}_{ij}^1(t_1) = Sw_{11}^{1ij}$; и т.д.

Для обучения по модифицированному алгоритму разрабатываемой НКК следует знать состояние медицинской системы в последовательных моментах времени t_1, t_2 с заранее определенными величинами активности факторов в каждый из этих

моментов. Значение ошибки $E = \frac{1}{2} \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^{Na} \left(\left[vK_i(t_2) - vK_i(t_1) \right]^2 \right)$, где Na – мощность множества активных концептов, T – количество временных интервалов в модели. Обучение разрабатываемой НКК прошло успешно, когда достигнута заданная погрешность (рис. 9).

Основная идея модифицированного алгоритма – минимизировать величину рассогласования между результатом проведенного моделирования и значениями обучающих выборок на каждой итерации. Показатели рассчитываются на основе значений нечеткой транзитивно-замкнутой матрицы взаимообусловленности концепта на концепт $\|L_{ij}, \bar{L}_{ij}\|_{N \times N}$. Устойчивость НКК определяется за счет: 1) взаимного влияния концепта на концепт с учетом консонанса, диссонанса и совместной взаимообусловленности; 2) взаимообусловленности концепта на НКК с учетом консонанса, диссонанса и совокупного влияния; 3) взаимообусловленности группы концептов и концепта R на концепт K_j (рис.10). Здесь L_{ij} – максимальный положительный и \bar{L}_{ij} - минимальный отрицательный пути от концепта K_i к концепту K_j . Взаимообусловленности основания концептов друг на друга определяются в нечеткой матрице $\Delta\tilde{K}M = \left\| \Delta\tilde{K}m_{ij}, \overline{\Delta\tilde{K}m}_{ij} \right\|_{N \times N}$ из отрицательного и положительного элементов, рассчитанных по следующему правилу: $\overline{\Delta\tilde{K}m}_{ij} = \min(v\Delta\tilde{K}_{ij} \text{ npru}(\Delta\tilde{K}_j = Q_1, Q_2, Q_3, Q_4))$, $\Delta\tilde{K}m_{ij} = \max(v\Delta\tilde{K}_{ij} \text{ npru}(\Delta\tilde{K}_j = Q_6, Q_7, Q_8, Q_9))$. Консонанс влияния концепта на медицинскую систему определяет степень согласованности всех ее элементов и насколько когерентно присутствие концептов НКК в моделируемой медицинской Про.

Предложенный модифицированный алгоритм существенно уменьшает

неоднозначность экспертных данных и позволяет сократить число ошибок (первого и второго рода) до уровня 0,1.



Рисунок 9 – Алгоритм обучения НКК

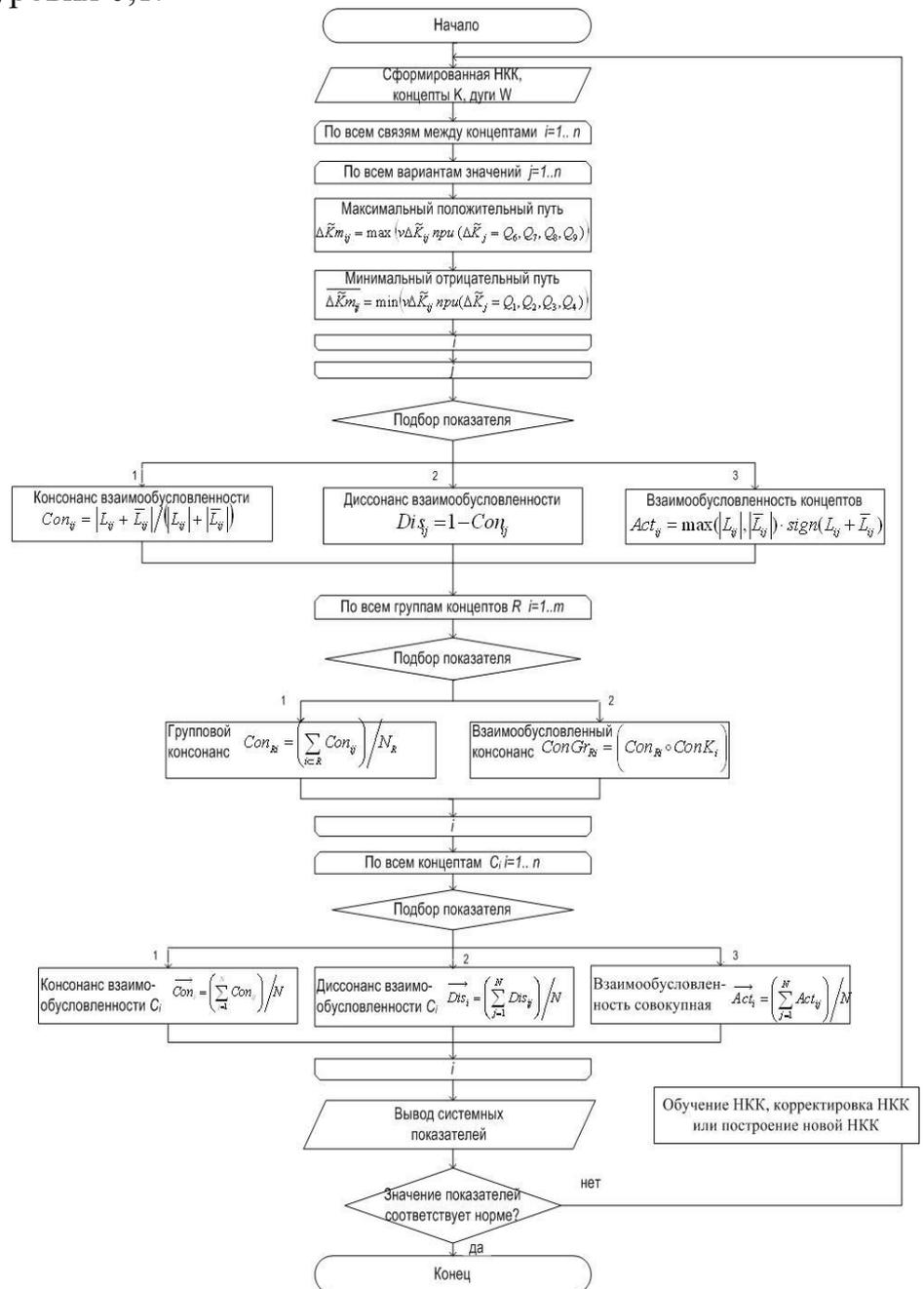


Рисунок 10 – Алгоритм расчета системных показателей НКК

В четвертой главе отражено применение разработанных в диссертационной работе алгоритмов и методов управления медицинскими материальными потоками в задачах ППМР на основе НКК, в котором решается задача распределения нагрузки медицинского персонала с эффективностью 91,7%. Представлены основные возможности и структурные схемы подсистем (рис. 11). Разработан программный комплекс управления медицинскими материальными потоками на основе нечеткой логики «Эксперт 5. Управление медицинскими материальными потоками с применением когнитивного анализа». Система разработана по модульному принципу, каждый из модулей является подсистемой, выполняющий

решение конкретной задачи (рис. 12). Комплекс реализован на основе представленной теории в главах 2 и 3, а также разработанных методов и алгоритмов интеллектуальной ППМР на базе технологий когнитивного анализа и разработанной НКК. Управление медицинскими материальными потоками осуществляется за счет оценки показателей устойчивости НКК, по которым выносится решение об итогах работы системы.



Рисунок 11 – Обобщенная схема работы медицинской системы на основе нечетких когнитивных карт



Рисунок 12 – Укрупненная структура ПК «Эксперт 5»

Разработанный программный комплекс успешно внедрен в Государственном бюджетном учреждении Рязанской области «Областной клинический противотуберкулезный диспансер» (ГБУ РО ОКПТД, г. Рязань).

В заключении в диссертационной работе в рамках решения научно-технической проблемы управления медицинскими материальными потоками представлены основные научные результаты, полученные при решения поставленных практических задач.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Проведен анализ особенностей МИС с учетом медицинской ПрО. Рассмотрены ППМР в условиях неопределенности. Указаны основные воздействующие факторы и реализованы подходы для уменьшения их воздействия в управлении медицинскими материальными потоками. В результате проведенного исследования выявлены достоинства и недостатки известных методов ППМР.

2. Для управления медицинскими материальными потоками в динамике разработана НКК, где нечеткими являются концепты, а также связи между ними, отражающие вид влияния с учетом накапливания влияния группы концептов на конкретный концепт.

3. Разработаны метод и алгоритм, реализованные на основе выборки обучения НКК, позволяющие повысить адекватность и точность построения медицинских ПрО за счет собранных статистических данных в дискретные моменты времени различных состояний медицинской системы. На основании собранной статистики веса дуг представляются нечеткими значениями из определенного множества в ручном режиме, а в автоматическом – на основании сформированных лингвистических правил.

4. Предложена динамическая модель НКК, позволяющая проводить анализ

поведения сложных систем медицинского назначения для управления медицинскими материальными потоками с учетом нелинейного характера взаимообусловленности концептов в соотношении концепта на выходе от нечеткого состояния концепта на входе.

5. В разработанной НКК реализован анализ устойчивости на основе системных показателей, сформированных на базе значений нечеткой транзитивно-замкнутой матрицы взаимообусловленности концептов предназначенные для решения задач ППМР в задачах управления медицинскими материальными потоками.

6. Разработан и внедрен в деятельность Государственного бюджетного учреждения Рязанской области «Областной клинический противотуберкулезный диспансер» (ГБУ РО ОКПТД, г. Рязань, акт внедрения от 20.11.2019 г.) программный комплекс ППМР на основе нечеткой логики «Эксперт 5. Управления медицинскими материальными потоками с применением когнитивного анализа», предназначенный для осуществления информационной поддержки в учреждениях медицинской сферы в вопросах эффективного управления медицинскими материальными потоками (распределение медицинской нагрузки персонала).

На основании проведенных исследований можно сделать вывод, что в диссертационной работе решены поставленные задачи управления медицинскими материальными потоками (распределение нагрузки медицинского персонала) в системах ППМР в условиях неопределенности и неполноты данных на основании теории нечетких множеств и когнитивного анализа.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК РФ:

1. Жулева, С.Ю. Поддержка принятия управленческих медицинских решений и природа неопределенности в них / С.Ю. Жулева, А.В. Крошилин С.В. Крошилина // Биомедицинская радиоэлектроника. – 2021, Т. 24, № 4. – С. 89-96.

2. Жулева, С.Ю. Реализация модели динамики распределения материальных потоков в медицинском учреждении / С.Ю. Жулева, А.В. Крошилин, С.В. Крошилина // Биомедицинская радиоэлектроника. – 2020, Т. 23, № 3. – С. 53-60.

3. Жулева, С.Ю. Применение нечетких когнитивных карт при управлении медицинскими материальными потоками / С.Ю. Жулева, А.В. Крошилин, С.В. Крошилина, А.Н. Пылькин // Биомедицинская радиоэлектроника. – 2019, Т. 22, № 4. – С. 77-84.

4. Жулева, С.Ю. Поддержка принятия решений в задачах распределения нагрузки медицинских работников на основе методов искусственного интеллекта / С.Ю. Жулева, А.В. Крошилин, С.В. Крошилина // Биомедицинская радиоэлектроника. – 2018, № 8. – С. 54-59.

5. Жулева, С.Ю. Формирование наборов вариантов течения болезни методом нечеткой кластеризации в системах поддержки принятия медицинских решений / Д.Х. Доан, С.Ю. Жулева, А.В. Крошилин, С.В. Крошилина, В.В. Тишкина // Биомедицинская радиоэлектроника. – 2017, – № 7, – С. 60-66.

6. Жулева, С.Ю. Оверлейная модель пациента в медицинских системах

поддержки принятия решений / А.В. Крошилин, С.В. Крошилина, С.Ю. Жулева // *Фундаментальные исследования*. – 2015, № 9-2. – С. 261-265.

7. Жулева, С.Ю. Формирование базы знаний в экспертных системах медицинского назначения / А.В. Крошилин, С.В. Крошилина, С.Ю. Жулева // *Современные проблемы науки и образования*. – 2015, № 2-2. – С. 23.

8. Жулева, С.Ю. Поддержка принятия решений на основе нечеткой логики в системах медицинского назначения / Е.Н. Долженко, С.Ю. Жулева, А.В. Крошилин, С.В. Крошилина, А.Н. Пылькин // *Биомедицинская радиоэлектроника*. – 2015, – № 5, – С. 62-67.

9. Жулева, С.Ю. Представление модели предметной области на основе семантической сети в системах медицинского назначения / С.Ю. Жулева, А.В. Крошилин, С.В. Крошилина // *Динамика сложных систем - XXI век*. – 2015, Т. 9, № 4. – С. 29-33.

Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ:

10. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2016618264, Программный комплекс поддержки принятия решений на основе нечеткой логики "Эксперт 5. Управления медицинскими материальными потоками с применением когнитивного анализа" ver. 5.02 / С.В. Крошилина, А.В. Крошилин, А.Н. Пылькин, С.Ю. Жулева // *Зарегистр. в реестре программ для ЭВМ* 26.07.2016 г.

Публикации в других изданиях и материалы конференций:

11. Жулева, С.Ю. Обзор существующих медицинских информационных систем // *Материалы XXXIII Всероссийской научно-технической конференции «Биотехнические, медицинские и экологические системы, измерительные устройства и робототехнические комплексы – БИОМЕДСИСТЕМЫ-2020»* (9-11 декабря 2020 г., г. Рязань). – Рязань, 2020. – С. 460-462.

12. Жулева, С.Ю. Анализ существующих систем поддержки принятия решений медицинского назначения / Д.Х. Доан, С.Ю. Жулева, С.В. Крошилина // *Научные механизмы решения проблем инновационного развития: сб. статей Междунар. науч.-практ. конф. (1 апреля 2017 г., г. Уфа)*. В 4 ч. Ч.2/ – Уфа: АЭТЕРНА, 2017. – С. 17-19.

13. Жулева, С.Ю. Использование нечеткой кластеризации в анализе статистической медицинской информации для формирования наборов вариантов течения болезни в системах поддержки принятия медицинских решений / Д.Х. Доан, С.В. Крошилина, С.Ю. Жулева // *Новые технологии в научных исследованиях, проектировании, управлении, производстве: труды Междунар. науч.-техн. конф. Воронеж: ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»*, 2017, Т. 1. – С. 268-272.

14. Жулева, С.Ю. Применение теории нечетких множеств и нечеткой логики для представления медицинских знаний в системах поддержки принятия решений медицинского назначения / Д.Х. Доан, С.Ю. Жулева, С.В. Крошилина // *Современный взгляд на будущее науки: сб. статей Междунар. науч.-практ. конф. (20 марта 2017 г., г. Казань)*. В 3 ч. Ч.2/–Уфа: АЭТЕРНА, 2017.– С. 22-25.

15. Жулева, С.Ю. Функциональная классификация медицинских информационных систем в здравоохранении / Д.Х. Доан, С.Ю. Жулева, С.В. Крошилина

// Новая наука: история становления, современное состояние, перспективы развития: сб. статей Междунар. науч.-практ. конф. (8 апреля 2017 г., г. Пермь). В 3 ч. Ч.2/ – Уфа: МЦИИ ОМЕГА САЙНС, 2017. – С. 45-47.

16. Жулева, С.Ю. Когнитивная модель управления медицинским персоналом / С.Ю. Жулева, Д.Х. Доан, С.В. Крошила // Традиционная и инновационная наука: история, современное состояние, перспективы: сб. статей Междунар. науч.-практ. конф. (28 марта 2017 г., г. Екатеринбург). В 2 ч. Ч.1 / - Уфа: МЦИИ ОМЕГА САЙНС, 2017. – С. 23-26.

17. Жулева, С.Ю. Модель управления медицинским материальным потоком, базирующаяся на когнитивной карте / С.Ю. Жулева, Д.Х. Доан, А.В. Крошин, С.В. Крошила // Вопросы образования и науки: сб. науч. тр. по мат-лам междунар. науч.-практ. конф. 31 марта 2017 г. Часть 3. – Тамбов: ООО «Консалтинговая компания Юком», 2017. – С. 44-46.

18. Жулева, С.Ю. Распределение нагрузки медицинского персонала на основе теории нечетких множеств / С.Ю. Жулева, Д.Х. Доан, А.В. Крошин // Приоритетные направления развития образования и науки: мат-лы Междунар. науч.-практ. конф. (Чебоксары, 9 апр. 2017 г.). В 2 т. Т. 2 / редкол.: О.Н. Широков [и др.]. – Чебоксары: ЦНС «Интерактив плюс», 2017. – С. 57-59.

19. Жулева, С.Ю. Система поддержки принятия медицинских решений в вопросах управления медицинскими материальными потоками / А.В. Крошин, С.В. Крошила, С.Ю. Жулева // Естественнонаучные основы медико-биологических знаний: Материалы Всероссийской конференции студентов и молодых ученых с международным участием (Рязань, 9-10 ноября 2017 г.). – Рязань. – С. 295-296.

20. Жулева, С.Ю. Подходы к проблеме поддержки принятия решений в медицине / Д.Х. Доан, С.Ю. Жулева, С.В. Крошила // Информационные системы и технологии – ИСТ-2016: Мат-лы XXII Междунар. науч.-техн. конф. 22 апреля 2016 г. – Н. Новгород: НГТУ им. Р.Е. Алексеева, 2016. – С. 234-235.

21. Жулева, С.Ю. Семантическая сеть распределения врачебной нагрузки медицинских учреждений / С.Ю. Жулева, А.В. Крошин // Материалы XXIX Всероссийской научно-технической конференции «Биотехнические, медицинские и экологические системы и комплексы. БИОМЕДСИСТЕМЫ – 2016». (7-9 декабря 2016 г., г. Рязань). – Рязань, 2016. – С.146-148.

22. Жулева, С.Ю. Особенности автоматизации распределения нагрузки медицинского персонала // Материалы XXI Всероссийской НТК студентов, молодых ученых и специалистов «Новые информационные технологии в научных исследованиях – НИТ-2016» (16-18 ноября 2016 г., г. Рязань). – Рязань, 2016. – С. 58-59.

23. Жулева, С.Ю. Особенности автоматизации распределения учебной нагрузки образовательных учреждений в условиях неполноты и нечеткости данных // Материалы XIX Всероссийской НТК студентов, молодых ученых и специалистов «Новые информационные технологии в научных исследованиях и в образовании – НИТ-2014» (13 ноября 2014 г., г. Рязань). – Рязань, 2014. – С.150-151.

Жулева Светлана Юрьевна

**МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ УПРАВЛЕНИЯ
МАТЕРИАЛЬНЫМИ ПОТОКАМИ НА ОСНОВЕ КОГНИТИВНОГО
ПОДХОДА В СИСТЕМАХ МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

А в т о р е ф е р а т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

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

Бумага офсетная. Печать офсетная. Усл. печ. л. 1,0.

Тираж 100 экз. Заказ.

Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина.

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