

На правах рукописи



КОВАЛЕВ Роман Игоревич

**МОДЕЛИ, МЕТОДЫ И ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ  
СОЗДАНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ ПО ПЛАНИРОВАНИЮ И  
МОНИТОРИНГУ ЛЕЧЕНИЯ**

Специальность 2.3.5 -  
«Математическое и программное обеспечение вычислительных систем,  
комплексов и компьютерных сетей»

Автореферат  
диссертации на соискание учёной степени  
кандидата технических наук

Владивосток – 2024

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте автоматики и процессов управления Дальневосточного отделения Российской академии наук и Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Дальневосточный федеральный университет».

Научный руководитель: **Грибова Валерия Викторовна**  
доктор технических наук, чл.-корр. РАН

Официальные оппоненты: **Гергет Ольга Михайловна**,  
доктор технических наук, доцент, ФГБУН Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН,  
ведущий научный сотрудник, г. Москва

**Румовская София Борисовна**,  
кандидат технических наук, Калининградский филиал ФГУ «Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» РАН»,  
старший научный сотрудник, г. Калининград

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт систем информатики им. А.П. Ершова Сибирского отделения Российской академии наук, г. Новосибирск

Защита состоится « 10 » октября 2024 г. в 14:00 на заседании диссертационного совета Д 24.1.027.01 на базе Института автоматики и процессов управления ДВО РАН по адресу: 690041, г. Владивосток, ул. Радио, 5.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ИАПУ ДВО РАН и на сайте [https://www.iacp.dvo.ru/resources/fileman/Uploads/dissertations/Ковалёв2/Kovalev\\_RI\\_diss.pdf](https://www.iacp.dvo.ru/resources/fileman/Uploads/dissertations/Ковалёв2/Kovalev_RI_diss.pdf)

Автореферат разослан «    » \_\_\_\_\_ 2024 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета Д 24.1.027.01



Петрунько Н.Н.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования и степень разработанности темы.** Компьютерная поддержка практикующего врача при выборе оптимальной комплексной терапии в соответствии с индивидуальными особенностями пациента является актуальной задачей. Актуальность обосновывается большим числом медицинских ошибок, вызванных различными факторами, основными из которых является огромная номенклатура лекарственных и физиотерапевтических средств, чрезмерная сложность назначения дозировки, длительности лечения, сочетания различных воздействий, противопоказаний и показаний. Единственным эффективным решением, которое может существенным образом улучшить данную ситуацию, является внедрение в систему здравоохранения систем поддержки принятия решений (СППР), использующих в своей работе технологии искусственного интеллекта.

К настоящему времени разработано большое количество СППР, помогающих врачу назначить медикаментозное лечение, помочь спланировать тактику хирургической операции или план реабилитации. Значительный вклад в разработку таких систем внесли множество отечественных ученых: В.В. Грибова, Б.А. Кобринский, А.П. Еремеев, П.Р. Варшавский, С.Б. Румовская, А.С. Клещев, И.А. Ходашинский, М.Ю. Черняховская, Ю.А. Орлова, Ю.А. Загорулько, Е.А. Шалфеева, Аверкин Л.Н. и многие другие российские исследователи, а также ряд зарубежных исследователей: Е.Н. Shortliffe, А.С. Scott, R. High, А. Holzinger, J. T. Monson, L.G. Cretu, E.L. Siegel, O. Selfridge, M. Fowler и многие другие.

Однако, существующие решения реализуются только для одного заболевания, реже для небольшой их группы. При этом каждый вид лечения также реализован отдельной системой. Большинство из них ориентированы на первоначальное назначение лечения без его дальнейшей коррекции и мониторинга.

Построение интеллектуальных СППР представляет собой трудоемкий процесс, требующий больших затрат временных, интеллектуальных и финансовых ресурсов. Огромное количество заболеваний делает невозможным создание и сопровождение отдельной системы для каждого заболевания (либо группы заболеваний). Перспективным подходом к решению указанных проблем является создание комплекса инструментальных средств, ориентированного на решение заданного класса задач. Поскольку группа задач охватывает планирование лечения, коррекцию ранее назначенного лечения и мониторинг результативности лечения, а при лечении разных заболеваний востребованы те или иные виды лечения (медикаментозное и/или восстановительное и/или хирургическое), спектр компонентов для конструирования систем достаточно широк. Поэтому требуются инструменты для создания прикладных интеллектуальных программных систем, способных формировать и обосновывать гипотезы (варианты) назначения лечебных мероприятий или их коррекции на основе информационных компонентов (хранимых знаний и рекомендованных прецедентов), а также оценивать изменение состояния пациента по результатам их воздействия.

**Объектом исследования** являются интеллектуальные СППР по планированию, мониторингу и коррекции лечения, а также инструментальные средства их разработки.

**Предметом исследования** являются методы, модели и алгоритмы создания интеллектуальных СППР по планированию, мониторингу и коррекции лечения.

**Цель и задачи работы.** Цель диссертационной работы состоит в разработке моделей, методов, и инструментальных средств для поддержки комплекса задач, связанных с процессом лечения, и обеспечивающих снижение трудоемкости создания прикладных интеллектуальных систем поддержки принятия решения для задач данного класса.

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

1) разработать принципы создания комплекса инструментальных программных средств для конструирования прикладных интеллектуальных систем поддержки принятия решений в процессе лечения пациентов.

2) разработать онтологический паттерн представления знаний по планированию и мониторингу лечения, метод и алгоритм решения задачи планирования, мониторинга и коррекции лечения на основе онтологического паттерна с генерацией детализированного объяснения;

3) разработать метод и алгоритм решения задачи планирования и коррекции лечения по аналогии на основе базы прецедентов (БП);

4) разработать архитектуру и методы реализации комплекса инструментальных средств для построения интеллектуальных СППР по планированию, мониторингу и коррекции лечения на основе знаний и рассуждения по аналогии.

5) разработать технологию создания прикладных интеллектуальных систем (СППР) планирования, мониторинга и коррекции лечения с использованием комплекса инструментальных средств.

**Научная новизна** работы заключается в следующем:

1) Впервые предложен онтологический паттерн на основе семантической (графовой) модели представления знаний по комплексному планированию и мониторингу лечения пациентов, независимый от заболевания и адаптируемый к различным видам лечения, экспертам, медицинским учреждениям на основе декларативной спецификации.

2) Впервые разработан метод генерации плана лечения, его коррекции (по результатам мониторингования), автоматически адаптируемый под специализированную онтологию (сформированную на основе онтологического паттерна) и формализованную по ней базу знаний (БЗ) с генерацией детализированного объяснения предлагаемого решения. Метод обеспечивает возможность создания единого онтологического решателя на основе онтологического паттерна, что существенно снижает затраты на разработку интеллектуальных СППР и повышает доверие к результатам.

3) Предложен комбинированный метод рассуждения по аналогии, сочетающий извлечение прецедента на основе знаний с классическим способом

К-ближайших соседей, для обеспечения гибкости и корректности в оценке сходимости прецедентов.

**Теоретическая значимость** работы заключается в развитии средств и методов создания интеллектуальных систем на основе гибридного подхода, сочетающего различные методы искусственного интеллекта: вывод на основе онтологических БЗ и рассуждения по аналогии. Это позволяет преодолеть недостатки каждого метода в отдельности и расширить возможности системы.

**Практическая значимость работы.** Предложенные в рамках диссертационной работы модели, методы, алгоритмы позволяют существенно снизить затраты на разработку и сопровождение интеллектуальных систем по назначению персонифицированного лечения, его мониторингу и коррекции. Автором получено 4 свидетельства о регистрации программ для ЭВМ. Практическая полезность результатов диссертационного исследования подтверждается успешным использованием полученных результатов при выполнении государственных заданий и научных исследований №FZNS-2023-0010 (ДВФУ), №0202-2021-0004 (ИАПУ), FWW-2022-0002 (ИАПУ), а также по гранту №157ГС1ИИС12-D7/79668.

С использованием комплекса инструментальных средств был разработан ряд интеллектуальных систем управления лечением, в частности, система для лечения коронавирусной инфекции COVID-19 методами традиционной китайской медицины, что подтверждается актом о внедрении. Был разработан интеллектуальный сервис управления процессом лечения больных туберкулезом легких, позволяющий формировать планы лечения с минимально возможным использованием препаратов и максимальной эффективностью для предупреждения формирования лекарственной устойчивости МБТ. Его БЗ сформирована на основе клинических рекомендаций Минздрава России. Данная система успешно прошла апробацию в различных медицинских учреждениях, в частности в Оренбургском областном клиническом противотуберкулезном диспансере, что подтверждается протоколом испытаний. Использование системы показало корректность предлагаемых рекомендаций по лечению. Также был разработан ряд систем для лечения заболеваний в кардиологии и гастроэнтерологии.

**Методы исследования.** В работе использовались методы системного анализа, теории графов, облачных технологий, объектно-ориентированного программирования, онтологического инжиниринга и других методов искусственного интеллекта.

**Основные положения, выносимые на защиту:**

1. Онтологический паттерн представления знаний по планированию и мониторингу лечения, независимый от заболевания, и метод его адаптации к различным видам лечения на основе декларативной спецификации;

2. Единый (универсальный) алгоритм управления процессом лечения, на основе онтологического паттерна и баз знаний, реализующий комплекс задач управления процессом лечения для различных видов лечения и заболеваний с генерацией объяснений;

3. Метод рассуждения по аналогии, обеспечивающий поиск похожих прецедентов в медицинских терминах для произвольных заболеваний, на основе знаний и метода К-ближайших соседей;

4. Комплекс инструментальных средств для разработки прикладных интеллектуальных СППР по управлению процессом лечения для различных заболеваний (управление подразумевает: назначение лечения по предварительному диагнозу – назначение лечения по окончательному диагнозу – мониторинг лечения – коррекция лечения).

**Достоверность научных и практических результатов** подтверждается созданием целого ряда прикладных медицинских систем для лечения различных заболеваний. Базы знаний и данных эволюционируют по мере изменения фактологического материала, расширения знаний и выявления на практике новых случаев, требующих корректировки знаний человеком-экспертом или автоматически, при этом разработанные модели, методы и алгоритмы корректировки не требуют.

**Апробация работы.** Основные результаты работы докладывались и обсуждались на конференциях: «Системный анализ в медицине» (САМ 2020), Благовещенск, 2020; VIII Всероссийская научная конференция, Уфа, 2020; «Системный анализ в медицине» (САМ 2021), Благовещенск, 2021; Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте, 2021, Коломна; Двадцатая Национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием (КИИ-2022), Москва, 2022; Двадцать первая Национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием (КИИ-2023), Смоленск, 2023.

**Публикации.** По теме диссертационной работы опубликовано 21 научная работа, из них 6 статей в журналах, рекомендованных ВАК; 4 статьи Scopus и WoS; 4 свидетельства о регистрации программ для ЭВМ; 7 докладов на конференциях и другие публикации.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, 4-х глав, заключения, списка литературы. Общий объем диссертации составляет 145 страниц, в том числе список литературы из 123 наименований, 69 рисунков, 2 приложения.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цели и задачи исследования, отражена научная новизна и представлена практическая значимость полученных результатов.

**В первой главе** приведен обзор состояния текущего состояния в области разработки интеллектуальных систем, в частности СППР по назначению лечения. В обзоре проанализированы различные типы таких систем, а именно системы на основе знаний, на основе прецедентов и системы на основе методов машинного обучения.

Обзор показал, что на текущий момент не существует программных решений, ориентированных на широкий спектр заболеваний. Также в большинстве систем отсутствует возможность проведения мониторинга и

коррекции лечения. Системы поддерживают один вид лечения (медикаментозное, восстановительное либо хирургическое). Поэтому в реальных условиях возникает необходимость в использовании множества разнородных систем как по различным нозологиям, так и по различным видам лечения, которые, как правило, несовместимы и не взаимосвязаны.

**Во второй главе** представлены принципы создания комплекса инструментальных средств для построения прикладных систем планирования, мониторинга и коррекции лечения, направленные на устранение недостатков существующих подходов. Разработан онтологический паттерн, а также метод решения задачи планирования и коррекции лечения на его основе. Описана архитектура и реализация компонента вывода на основе знаний.

Выделены следующие принципы создания:

1) Разрабатываемый инструментальный комплекс должен основываться на гибридном подходе, сочетающем вывод на основе баз знаний и рассуждения по аналогии (по прецедентам).

В медицине лечение назначается в соответствии с клиническими рекомендациями Минздрава, поэтому вывод на основе знаний является первостепенным. Поиск решения по аналогии (на основе прецедентов) используется в случае атипичной, нестандартной ситуации, которая не описана в БЗ, но встретилась в реальной практике. От использования методов машинного обучения было решено отказаться, ввиду невозможности накопления актуальной обучающей выборки: методы лечения часто обновляются, поэтому обучение на исторических данных неэффективно.

2) Комплекс инструментальных средств не должен зависеть от раздела медицины, конкретного заболевания (группы заболеваний) и от вида лечения, которое включает медикаментозное, восстановительное и хирургическое. Для реализации этого принципа предлагается использовать двухуровневый онтологический подход. Он позволяет явно отделить знания от онтологии, процедурной части и создать единый алгоритм (решатель) заявленного класса задач. Необходимо разработать онтологический паттерн для представления знаний о лечении, включающий модель обобщённой онтологии представления знаний о лечении, а также модель ее спецификации к различным видам лечения.

3) Комплекс инструментальных средств должен иметь функциональные возможности генерации персонифицированного комплексного лечения, проведения мониторинга результативности лечения и его коррекции в соответствии с изменяющимися параметрами пользователя и с учетом ранее назначенного лечения.

4) Комплекс инструментальных средств должен иметь объяснительную компоненту, что является важным требованием к интеллектуальным системам в целом и особенно медицинским. Объяснение предложенного лечения должно строиться на основе специальной модели онтологии объяснения, с использованием которой должен быть запрототолирован каждый шаг формирования плана лечения в соответствии с БЗ.

5) Рассуждение по аналогии должно обеспечивать поиск похожих историй болезни с настраиваемыми пользователем критериями.

Для реализации данного принципа необходимо использовать комбинированный подход к извлечению прецедентов. Степень сходства признаков будет определяться на основе Базы знаний медицинских терминов и признаков в сочетании с классическим методом К - ближайших соседей. БЗ позволит корректно определять критерии сходства на основе множества референсных значений признаков с учетом пола, возраста и состояний пациента.

В состав компонента вывода на основе знаний входят информационные и программные ресурсы. К информационным относятся онтологии и порожденные на их основе базы данных и знаний. В ходе данной работы были разработаны онтологический паттерн, включающий Обобщенную модель онтологии представления знаний по комплексному планированию и коррекции лечения и метод ее адаптации к конкретным видам лечения, а также модель онтологии объяснения назначенного лечения. Также используются ранее разработанные и реализованные на платформе IACPaas модель онтологии фармакологического справочника, модель онтологии базы знаний медицинских терминов и признаков, модель онтологии персональной электронной медицинской карты.

К программным ресурсам относятся единый онтологический решатель, обеспечивающий формирование плана лечения, его мониторинг и коррекцию, а также генерацию детализированного объяснения.

Модель обобщенной онтологии представления знаний по комплексному планированию и коррекции лечения предназначена для описания знаний о лечении в рамках конкретной патологии с учетом персональных данных пациента в общепринятых в медицине структуре и терминах. Общая структура онтологии представлена на рисунке 1.

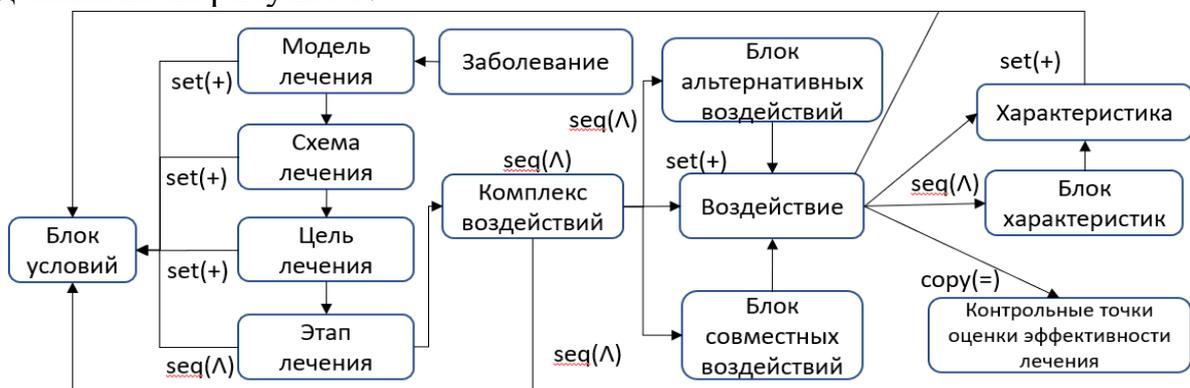


Рисунок 1 – Обобщенная модель онтологии представления знаний о лечении

Для каждого *Заболевания* формируется своя *Модель лечения* (или несколько моделей), которая может включать либо восстановительное, либо медикаментозное, либо хирургическое. Данная вершина группирует совокупность медицинских мероприятий с доказанным клиническим эффектом по отношению к определенному патологическому процессу.

Для решения вопросов персонификации лечения на каждом уровне модели предусмотрен комплекс условий (см. рис. 2). Данный раздел позволяет строить сложные многоуровневые условия, которые представляют собой набор критериев. Под критерием можно понимать любой элемент записи в электронной

медицинской карте пациента (ЭМК). Также раздел позволяет накладывать дополнительные временные и комплексные логические ограничения.

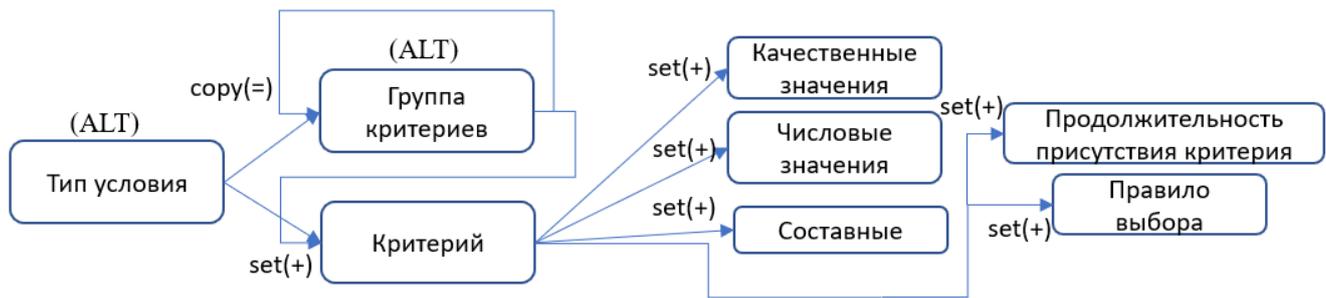


Рисунок 2 – Структура блока условий

Раздел модели онтологии *Схема лечения*, группирует программы оказания врачебной помощи согласно варианту протекания заболевания. Каждая *Цель лечения* содержит комплекс клинических мероприятий, направленный на конкретный аспект проводимого лечения. Например, «Противокашлевое действие», «Отхаркивающее воздействие» и т.д. Лечение может быть разделено на этапы, каждый *Этап лечения* представляет собой набор клинических мероприятий, организованный либо по временным отрезкам, либо по достижению целевых показателей, направленный на соответствующую цель лечения. Каждый этап лечения содержит *Комплекс воздействий* и *Продолжительность этапа воздействия*.

Структура раздела *Комплекс воздействий* позволяет формировать знания о любых манипуляциях с пациентом. *Воздействие* - формализует любое воздействие (действие) на пациента, имеющее доказанный лечебный фактор, например, действующее вещество, физиопроцедура, массаж, хирургические манипуляции (перевязка, наложение шва, обработка ран и т.д.). *Воздействия* могут группироваться в блоки: *Блок альтернативно используемых воздействий* и *Блок объединенных воздействий*. В данном разделе содержатся блок условий, а также разделы, характеризующие само воздействие: «*Характеристика*» и «*Блок характеристик*».

*Характеристика* – универсальный элемент модели онтологии, предназначенный для описания параметров, свойств и ограничений какого-либо объекта или процесса. Раздел так же содержит собственный блок условий, необходимый для выбора конкретной характеристики, соответствующей картине заболевания. Формальное описание раздела на языке ИРУО представлено ниже

```

+set Характеристика {
    =сорутт Условие на характеристику {
        ~ргоху Тип условия <набор требуемых критериев>
    }
    ~ргоху Тип значения
    ALT{
        =сору Качественные значения {<качественное значение> }
        =сору Числовые значения{<числовое значение>}
        ~ргоху Составные значения{<составное значение>}
    }
}
  
```

Для проведения мониторинга и коррекции проводимого лечения, модель онтологии имеет раздел *Контрольные точки оценки эффективности лечения*. Он

позволяет задавать временные отрезки контроля, целевые показатели, которые требуется достичь, а также необходимые действия в случае расхождения с ними.

Описание раздела представлено ниже:

```
=сорутт Контрольные точки оценки эффективности лечения {
+set Контролируемый признак, определяющий проявления побочного эффекта от терапии {
  ~проху Тип значения
  ALT{
    =сору Качественные значения {<качественное значение> }
    =сору Числовые значения{<числовое значение>}
    ~проху Составные значения{<составное значение>}
  }
}
=сору Парирование симптомов {
  =сору Отмена воздействия {
    +set <Воздействие>
    =сору Частота контроля {<числовые значения>}
  }
  =сору Отмена выбранной схемы {
    +set <Схема лечения>
    =сору Частота контроля {<числовые значения>}
  }
}
}
```

Представленная модель онтологии позволяет формировать знания о различных видах лечения независимо от заболевания. Это открыло возможность объединения различных видов лечения в одной системе, а также создания единого решателя.

Для обеспечения генерации объяснений рекомендуемого лечения разработана модель онтологии объяснения. Модель онтологии объяснения предложенного лечения описывает структуру для объяснения результата работы. В ресурсе, сформированном на ее основе, будет разъяснено, какое лечение было назначено пациенту, а какое не было, и почему. Этот ресурс будет также необходим для дальнейшего мониторинга и коррекции проводимого лечения.

Модель онтологии объяснения разделена на два основных раздела: *Рекомендованное лечение* и *Не рекомендованное лечение*. Первый содержит структуру для описания предлагаемого плана лечения пациента, представляющего собой набор моделей лечения, схем лечения, целей лечения, с соответствующим комплексом воздействий, которые соответствуют картине заболевания. Онтология раздела на языке ИРУО представлена ниже:

```
+set№ ЭМК {
  сору Рекомендовано к назначению лечения {
    +set Модель лечения {
      +set Схема лечения {
        +set Цель лечения {
          +setmm Этап лечения {
            =сорутт Выполненные критерии {<выполненные критерии>}
            =сорутт Возможно к применению {
              +setmm Комплекс воздействий {<набор воздействий>}
            }
          }
        }
      }
    }
  }
}
```

Раздел *Не рекомендованное лечение* представляет лечение, т.е. модели, схемы, цели лечения, которые по различным причинам не подходят при текущей клинической картине. Модель онтологии раздела на языке ИРУО представлена ниже.

```
=copy Не рекомендовано к назначению лечения{
  +set Модель лечения {
    =copymm Не выполненные критерии{<не выполненные критерии>}
    +setmm Схема лечения{
      =copymm Не выполненные критерии { <не выполненные критерии>}
      +set Цель лечения{
        =copymm Не выполненные критерии{
          <не выполненные критерии>}
        +setmm Этап терапии{
          ~copymm Не выполненные критерии{
            <не выполненные критерии>}
          }
        }
      }
    }
  }
}
```

Важным разделом данной модели онтологии является блок объяснений. Он присутствует на каждом структурном уровне модели и объясняет рекомендации по включению или не включению в лечение рассматриваемой вершины. В нем содержится набор критериев из соответствующего блока условий, которые были или не были выполнены.

Разработан метод решения задачи планирования, мониторинга и коррекции лечения на основе онтологического паттерна не зависимый от вида лечения и раздела медицины. Работа онтологического решателя основывается на обобщенной модели онтологии. Метод применяется для адаптации решателя и обобщенной модели онтологии к конкретным условиям с помощью декларативной модели соответствий. Она позволяет гибко настроить как структуру, так и терминологию обобщенной модели онтологии под конкретную специфику. Декларативная модель соответствий сопоставляет абстрактные понятия обобщенной модели онтологии и конкретные понятия в целевой, в результате чего формируются специализированные модели онтологий. Все блоки и разделы обобщенной и специализированных онтологий имеют одинаковую структуру и семантический смысл, и как следствие, идентичный алгоритм обработки, что позволяет разработать универсальный алгоритм.

Принципиальная схема такого подхода приведена на рисунке 3.

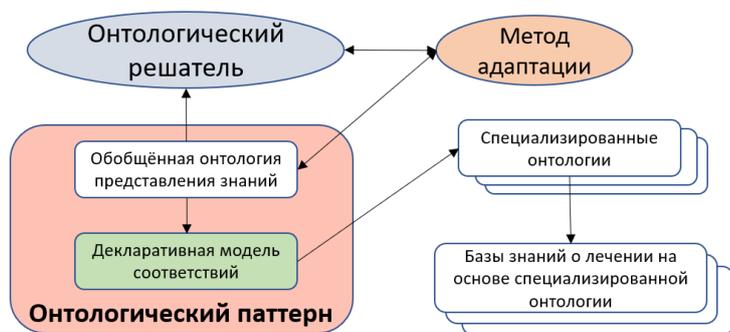


Рисунок 3 – Схема подхода по адаптации обобщенной модели онтологии

Например, адаптация обобщенной модели онтологии к медикаментозной терапии начинается с уровня *Комплекс воздействий*, где термин *Воздействие* заменен на *Действующее вещество*. Вершина *Блок характеристик* заменяется на *Вариант*

назначения, а термину *Характеристика* сопоставляется сразу несколько понятий: *Разовая дозировка*, *Суточная дозировка*, *Вариант применения*, *Кратность приема*, *Продолжительность приема*.

Для адаптации обобщенной модели онтологии к восстановительной терапии используется другая декларативная модель соответствий. Здесь термин *Воздействие* заменен на *Методику восстановительного лечения*, а *Блок характеристик* сопоставляется с вершинами *Режим проведения* и *Описание ожидаемой реакции при проведении процедуры*. Термин *Характеристика* заменяется на: *Характеристика методики*, *Область применения*, *Количество процедур*, *Дни применения*.

Так формируются модели специализированных онтологий, адаптированные к конкретным видам лечения и требованиям пользователей. На основе полученных онтологий формируются уже соответствующие БЗ по лечению заболеваний для различных разделов медицины. Формирование и сопровождение БЗ будет осуществляться носителем информации (экспертом предметной области).

Алгоритм работы решателя подразумевает пошаговый обход декларативной БЗ по лечению некоторого заболевания, а также электронной медицинской карты пациента (ЭМК). Проверяя необходимые критерии, предлагаются рекомендации по персонализированному лечению, либо проведению мониторинга и коррекции уже проводимого лечения с генерацией

детализированного объяснения.

Алгоритм решателя представлен на рисунке 4.

Реализация компонента вывода на основе знаний была выполнена на платформе IASaaS, которая представляет собой программно-информационный интернет-комплекс для обеспечения поддержки разработки, управления и удаленного использования прикладных и инструментальных



Рисунок 4 – Алгоритм работы решателя

мультиагентных облачных сервисов (прежде всего интеллектуальных) и их компонентов.

На данной платформе были реализованы модель онтологии объяснения назначенного лечения, а также онтологический паттерн, включающий модель

Обобщённой онтологии представления знаний по комплексному планированию и коррекции лечения, а также декларативная модель соответствий.

Реализация единого решателя компонента вывода на основе знаний выполнена с использованием мультиагентного подхода. Агенты реализованы на объектно-ориентированном языке высокого уровня Java с использованием API платформы IASPaas. Реализация занимает свыше 5000 строк кода, а скомпилированные агенты весят свыше 400Мб.

**В главе 3** представлен метод извлечения медицинских прецедентов из БП. Описана архитектура и реализация компонента вывода на основе рассуждений по аналогии (прецедентам). Актуальность применения таких методов обусловлена тем, что они позволяют работать с малыми наборами данных и эффективны в случае, когда компонент вывода на основе знаний не смог предложить решение ввиду недостатка знаний и/или данных.

Постановка задачи, следующая: на вход подается ЭМК, содержащая историю болезни пациента с поставленным диагнозом. Требуется найти похожие истории болезней пациентов из БП, ранжировать их по степени сходства, а также обеспечить пользователю демонстрацию похожих элементов из текущей ЭМК и прецедента.

ЭМК представляет собой формальное описание в медицинских терминах всей информации о больном, состоящей из его индивидуальных характеристик, анамнеза жизни, блоков жалоб, объективных, лабораторных и инструментальных исследований, а также поставленного диагноза. БП представляет собой набор ЭМК с историями болезней, у которых был поставлен диагноз и назначено лечение, а также отражены его результаты.

Для наполнения ЭМК используется База знаний медицинских терминов и признаков. Она содержит знания о всех возможных наблюдениях, что открывает возможность определить общие принципы схожести наблюдений, характерные для всех разделов медицины, тем самым обеспечивается применимость компонента для любых заболеваний.

Предлагается новый комбинированный метод извлечения прецедентов. Степень схожести будет определяться на основе Базы знаний медицинских терминов и признаков с помощью метода k-ближайших соседей. Это позволит максимально корректно оценивать схожесть ЭМК, БЗ необходима как средство для выбора метрик. Обобщенно представить метод можно в следующем виде:

$$Is[] = \sum_0^n Bp_i, \text{ если } \frac{\bar{d}_{x,Bp_i}}{n*10} > G\%,$$

где  $i$  – номер соответствующего прецедента;  $n$  – число наблюдений в новом случае и прецеденте;  $G$  – требуемый процент схожести;  $\bar{d}$  – расстояние между новым случаем и прецедентом.

Для корректного расчета схожести разнотипных наблюдений, необходимо их в ЭМК нового случая и прецедента привести к единой метрике и обеспечить им одинаковые веса. Для этого всем значениям наблюдений присваивается некоторый числовой эквивалент от «0» до «10», основываясь на Базу знаний медицинских терминов и признаков.

Расчет эквивалентов всех значений происходит попарно для каждого наблюдения, т.е. одновременно для нового случая и прецедента. Присвоение эквивалента для качественных значений происходит следующим образом. Если значение качественного признака или характеристики имеет порядковую шкалу, то набор его возможных значений из БЗ проецируется на диапазон 0-10, где «0» соответствует минимальному значению, а «10» - максимальному. Эквивалент промежуточного значения вычисляется по формуле:

$$\Xi = \frac{10(i-1)}{a-1},$$

где  $i$  – порядковый номер значения в наборе,  $a$  – количество возможных значений в наборе.

Если же используется шкала наименований, то в случае совпадения значений или же, попаданию в одно и тоже интегрирующее значение, признакам в истории болезни и прецеденте присваивается «0», т.е. полное совпадение; в случае если значения признаков различны, то одному присваивается «0», а другому «10», т.е. максимальное различие.

Расчет эквивалента для числовых значений происходит по следующему алгоритму. БЗ содержит описания референсных диапазонов (диапазон нормы), которые могут зависеть от различных параметров. Предварительно «0» сопоставляется диапазону нормы. Далее необходимо посчитать количество шагов до отрезка, в который попадает значение, эквивалент которого рассчитывается. Размер шага устанавливается по следующей формуле:

$$\text{Ш} = (b-a)*0.6,$$

где  $a$  – нижняя граница референсного диапазона,  $b$  – верхняя граница референсного диапазона

Полученное количество шагов для каждого из пары значений соответствует их предварительным эквивалентам. Затем расстояние между этими эквивалентами нужно перенести на диапазон 0-10, где «0» будет соответствовать значению из нового случая.

Такой подход позволяет определить сходство значений признаков на основе его обобщенного, а не абсолютного значения, с учетом различных факторов (пола, возраста, состояния пациента и др.).

Непосредственный расчет схожести нового случая и прецедента происходит совокупно по каждому признаку через Евклидово расстояние, на основании полученных эквивалентов, а затем переводится в проценты по следующей формуле:

$$\%_n = \frac{1 - \frac{\sum_{i=1}^n (|a_i - b_i|)}{n*10}}{100},$$

где  $n$  – совокупное количество различных признаков в новом случае и прецеденте;  $i$  – индекс признака в наборе;  $a_i$  – эквивалент значения признака из нового случая;  $b_i$  - эквивалент значения признака из прецедента.

Первые пять прецедентов, преодолевшие заданный порог схожести, предлагаются пользователю в качестве результатов работы. После чего пользователь может провести уточненный поиск прецедента, выбрав интересующие его признаки.

Реализация компонента вывода на основе прецедентов состоит из двух частей. Первая реализована на облачной платформе IASPaas и представляет из себя решатель с интерфейсным контроллером, ее реализация занимает около 1000 строк кода. Здесь выполняется интерфейсная подсистема и первичная подготовка данных, а также отображение результатов с детальным объяснением. Вторая часть реализована как внешний агент. В его роли выступает облачный сервер, где хранится сама база прецедентов, и происходит непосредственный расчет схожести.

В главе 4 описана архитектура комплекса инструментальных средств и технология создания прикладных СППР с его помощью, а также приведены результаты его апробации.

Архитектура разработанного комплекса инструментальных средств представлена на рисунке 4. Он состоит из двух компонентов: вывода на основе знаний и вывода на основе прецедентов. Инструментальный комплекс включает в себя набор информационных и программных ресурсов.

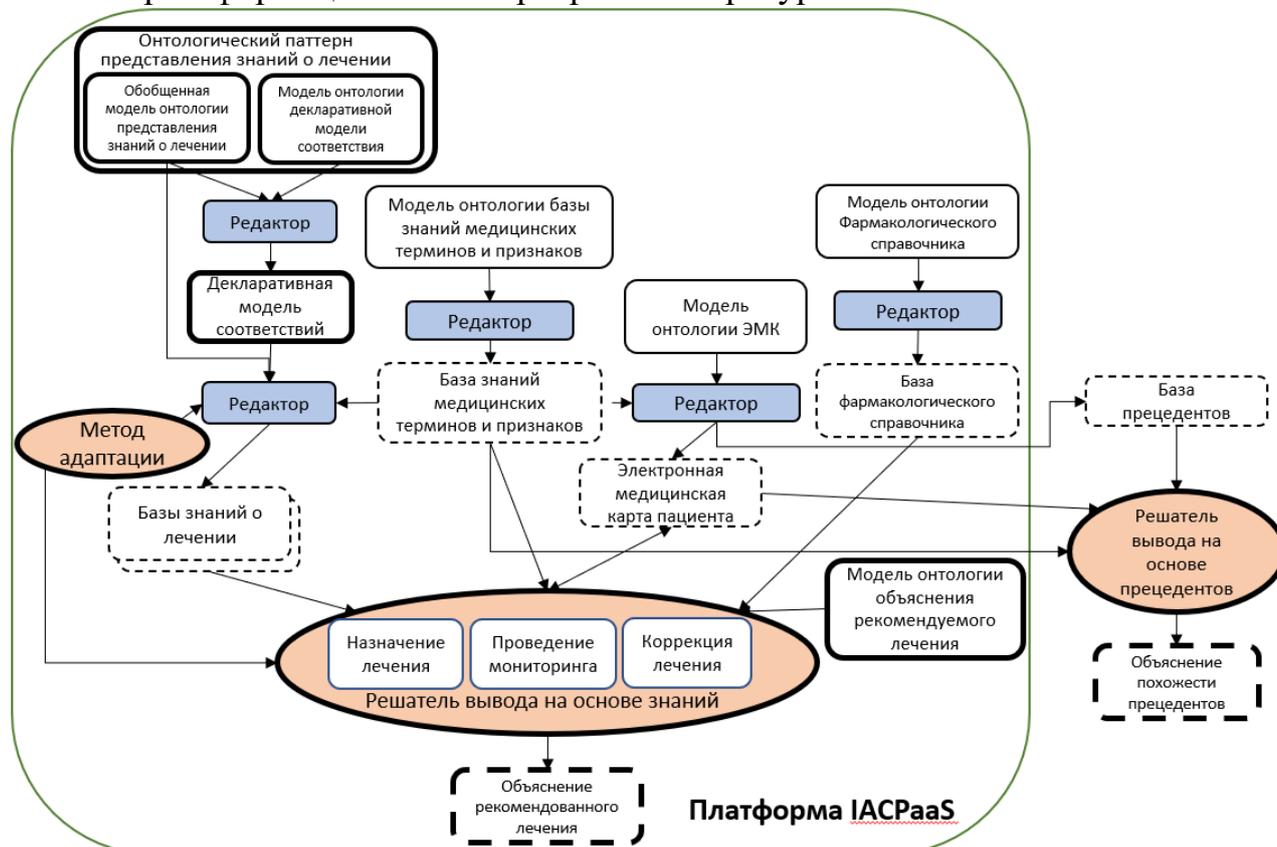


Рисунок 4 – Архитектурная схема комплекса инструментальных средств (жирным выделены ресурсы, разработанные в ходе данной работы, пунктиром обозначены базы знаний/данных)

С использованием комплекса инструментальных средств был разработан ряд интеллектуальных систем управления лечением, в частности, туберкулеза, Covid-19, заболеваний сердечно-сосудистой системы и желудочно-кишечного тракта.

Была проведена оценка эффективности его использования. Эффективное конструирование (снижение трудозатрат) при разработке прикладной

интеллектуальной системы основано на повторном использовании программных компонентов и информационных ресурсов.

Установлено, что при создании 10 прикладных систем по 10 различным заболеваниям использование данного инструментального комплекса обеспечивает снижение трудозатрат в среднем в 6 раз (см. рис. 5), при увеличении количества прикладных систем, общее снижение трудозатрат будет значительно выше.

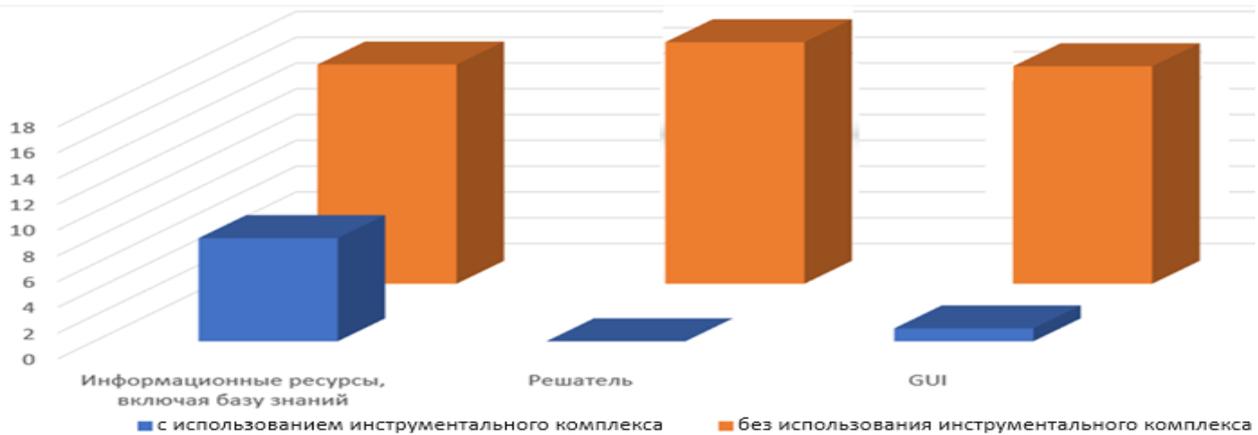


Рисунок 5 – Затраты на разработку, используя различные подходы

Учитывая количество заболеваний (более 10 тысяч по международному классификатору болезней), различные виды лечения, задачи управления процессом лечения (назначение – первичное и по точному диагнозу, мониторинг результативности лечения, коррекция лечения), уникальность конкретного клинического случая (что может потребовать рассуждения по аналогии), можно утверждать, что разработанный в рамках диссертационной работы комплекс инструментальных средств может быть использован для создания большого количества прикладных интеллектуальных систем.

### Основные результаты работы

1) Разработаны принципы создания комплекса инструментальных программных средств для создания прикладных интеллектуальных систем по назначению, мониторингу результативности и коррекции лечения. Основными являются: использование гибридного подхода, сочетающего вывод на основе баз знаний и рассуждения по аналогии (по прецедентам); использование онтологического паттерна для гибкой настройки онтологии на вид лечения и другие требования пользователей; генерация объяснений; поддержка назначения лечения с его мониторингом и коррекцией.

2) Разработан онтологический паттерн по комплексному планированию, мониторингу и коррекции лечения пациентов, включающий модель обобщенной онтологии представления знаний и декларативную модель соответствий. Онтологический паттерн и БЗ на его основе имеют семантическое (графовое) представление. Он интегрирует принципы назначения лечения в медицине (структуру, семантические связи и ограничения), а специфика лечения конкретного заболевания определяется непосредственно в базе знаний. Особенностью паттерна является возможность формализации знаний по

различным видам лечения (медикаментозному, восстановительному и хирургическому) для широкого спектра заболеваний.

3) Разработан метод решения задачи планирования, мониторинга и коррекции лечения на основе моделей онтологии ЭМК, обобщенной онтологии, адаптированной к виду лечения, онтологической БЗ, онтологии объяснения. Метод основывается на адаптации обобщенной модели онтологии и решателя к специализированным онтологиям с помощью декларативной модели соответствий. Возможна адаптация к конкретным лечебным заведениям и специалистам, которые хотят использовать собственную уникальную терминологию. Метод обеспечивает возможность использования единого онтологического решателя для данного класса задач, независимого от специализированной онтологии. Предложенное решение может быть использовано в других предметных областях со схожей структурой знаний.

Этот метод лег в основу единого онтологического решателя для данного класса задач, который на разных этапах процесса лечения пациента формирует решение для врача с детализированным объяснением полученных результатов, что значительно повышает доверие к системам такого класса. Наличие единого онтологического решателя обеспечивает возможность его повторного использования для создания СППР по лечению произвольных заболеваний. Что принципиально важно, метод позволяет проводить мониторинг проводимого лечения, а также его коррекцию с учетом ранее назначенного.

4) Предложен гибридный метод рассуждений по аналогии, сочетающий извлечение прецедента на основе знаний с классическим методом К-ближайших соседей. Расчет предварительной схожести каждого наблюдения происходит на основе знаний. Он основывается не на абсолютных, а обобщенных (относительных) значениях, т.е. с учетом различных факторов (пола, возраста, состояний пациента, например, наличия беременности и др.). Непосредственный расчет схожести признаков происходит с использованием метода К-ближайших соседей. Такой метод, в отличие от существующих решений, позволяет наиболее точно оценивать схожесть ЭМК, которые содержат множество разнородных признаков, а также обеспечивает генерацию результата в терминах предметной области: результатом работы алгоритма, реализованного на основе предложенного метода, является не только набор похожих историй болезни, но демонстрация врачу похожих элементов текущей истории болезни с элементами историй болезни из ранжированного списка.

5) Разработан комплекс инструментальных средств, позволяющий разрабатывать интеллектуальные системы (СППР) по комплексному планированию, мониторингу и коррекции лечения. Особенности разработанного комплекса инструментальных средств, принципиально отличающимися его от других известных решений, является:

- ориентация на различные виды лечения (медикаментозное, восстановительное, хирургическое);
- ориентация на широкий спектр заболеваний;
- сочетание вывода на основе знаний вместе с рассуждениями по аналогии (такое решение обладает рядом преимуществ, основным из которых является

возможность вывода решения даже в случае, когда имеется недостаток знаний и данных);

- генерация детализированного объяснения предлагаемых решений для вывода на основе знаний;

- реализация комплекса программных средств как облачного сервиса.

Наличие такого комплекса позволяет существенно снизить затраты на разработку и сопровождение конкретной системы, для этого необходимо сформировать только соответствующую БЗ, модифицировать решатель для этого не потребуется.

б) Разработана технология создания СППР планирования, мониторинга и коррекции лечения с использованием комплекса инструментальных средств. Проведенная оценка трудозатрат при разработке интеллектуальной СППР с использованием разработанного комплекса программных средств показала эффективность его применения.

### **ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

#### *Статьи ВАК*

1. Ковалев, Р. И. Специализированная оболочка для построения интеллектуальных систем назначения медикаментозного лечения / Р.И. Ковалев, В.В. Грибова, Д.Б. Окунь // Искусственный интеллект и принятие решений. 2020. №4. С. 66-79. DOI 10.14357/20718594200407.

2. Ковалев, Р. И. Интеллектуальная система поддержки принятия врачебных решений по дифференциальной диагностике и лечению Covid-19 / Р.И. Ковалев, В.В. Грибова, Ю.Н. Кульчин и др. // Вестник РАН. 2022. Т. 92. № 8. С. 781-789. ISSN 0869-5873.

3. Ковалев, Р. И. Облачный сервис дифференциальной диагностики и назначения персонифицированного лечения воспалительных заболеваний сердца / Р.И. Ковалев, В.В. Грибова, Е.А. Шалфеева и др. // Программные системы: теория и приложения. 2023. Т. 14. № 4. С. 141–188.

4. Ковалев, Р. И. Система назначения персонифицированного лечения по аналогии на основе гибридного способа извлечения прецедентов / Р.И. Ковалев, В.В. Грибова, Д.Б. Окунь // Программные продукты и системы. 2023. Т. 26, №3. С. 486-492. DOI:10.15827/0236-235X.143.486-492.

5. Ковалев, Р. И. База знаний для разработки интеллектуального ассистента врача-фтизиатра по управления процессом лечения больных туберкулезом легких / Р.И. Ковалев, В.В. Грибова, Е.А. Бородулина и др. // Врач и информационные технологии. 2023. № 2. С. 58-69.

6. Ковалев, Р. И. Онтология представления знаний о назначении персонифицированного лечения / Р.И. Ковалев, В.В. Грибова, Д.Б. Окунь // Онтология проектирования. 2023. Том 13, №2(48). С. 192-203. DOI: 10.18287/2223-9537-2023-13-2-192-203.

#### *Статьи WoS и Scopus*

7. Kovalev, R. I. A Specialized Shell for Intelligent Systems of Prescribing Medication / R.I. Kovalev, V.V. Gribova, D.B. Okun // Scientific and Technical Information Processing. 2021. Vol. 48, No. 5. Pp. 315-326.

8. Kovalev, R. I. Cloud-Based Platform for Drug Therapy Planning / R.I. Kovalev, V.V. Gribova, D.B. Okun // CEUR Workshop Proceeding. 2021. Vol. 2965. Pp. 303-310. ISSN 1613-0073.

9. Kovalev, R. I. An Intelligent System for Medical Decision Support in Differential Diagnosis and Treatment of COVID-19 / R.I. Kovalev, V.V. Gribova, Y.N. Kul'chin, et al. // Herald of the Russian Academy of Sciences. 2022. Vol. 92. No. 4. Pp. 511-519. ISSN 1019-3316. DOI: 10.1134/S1019331622040128.

10. Kovalev, R. I. Intelligent System for Prescribing Personalized Treatment by Analogy / R.I. Kovalev, V.V. Gribova, D.B. Okun // Pattern Recognition and Image Analysis. 2023. Vol. 33, No. 3. Pp. 334-339. DOI: 10.1134/S1054661823030161.

*Доклады на конференциях и другие публикации*

11. Ковалев, Р. И. Интеллектуальный сервис управления процессом лечения больных туберкулезом легких / Р.И. Ковалев, Е.А. Бородулина, В.В. Грибова и др. // Врач и информационные технологии. 2021. №2. С. 36-45.

12. Ковалев, Р. И. Принципы и архитектура специализированной оболочки для построения интеллектуальных систем назначения медикаментозного лечения / Р.И. Ковалев, В.В. Грибова, Д.Б. Окунь // Материалы XIV международной научной конференции «Системный анализ в медицине» (САМ 2020) / под общ. ред. В.П.Колосова. Благовещенск, 2020. С. 75-78. ISBN 978-5-905864-21-6.

13. Ковалев, Р. И. Облачная среда для планирования медикаментозной терапии / Р.И. Ковалев, В.В. Грибова, Д.Б. Окунь // Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений: труды VIII Всероссийской научной конференции (с приглашением зарубежных ученых), октябрь 6-9, 2020, Уфа, Россия. - Уфа. 2020. Том 1. С. 221-226.

14. Ковалев, Р. И. База знаний лечения миокардита: представление знаний для дифференцированной этиотропной терапии / Р.И. Ковалев, Окунь Д.Б. // Материалы XV международной научной конференции «Системный анализ в медицине» (САМ 2021) под общ. ред. В.П.Колосова. Благовещенск: ДНЦ ФПД, 2021. С. 53-56. ISBN 978-5-905864-24-7.

15. Ковалев, Р. И. Облачная платформа для планирования медикаментозной терапии / Р.И. Ковалев, В.В. Грибова, Д.Б. Окунь // Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте. Сборник научных трудов X-й Международной научно-технической конференции (ИММВ-2021, Коломна, 17-20 мая 2021 г.). – Смоленск: Универсум, 2021. Т. 2. С. 258-268. ISBN 978-5-91412-469-1.

16. Ковалев, Р. И. Интеллектуальная система назначения персонализированного лечения по аналогии / В. В. Грибова, Р. И. Ковалев, Д. Б. Окунь // Двадцатая Национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием, КИИ-2022: Труды конференции. В 2-х томах, Москва, 21–23 декабря 2022 года. Том 2. – Москва: Национальный исследовательский университет "МЭИ", 2022. – С. 292-301

17. Ковалев, Р. И. Метод разработки интеллектуальной системы комплексного назначения персонализированного лечения / В. В. Грибова, Р. И. Ковалев, Д. Б. Окунь // Двадцать первая Национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием, КИИ-2023 (Смоленск,

16-20 октября 2023г.). Труды конференции. В 2-х томах. – Смоленск: Принт-Экспресс, 2023. Т. 2. С. 323-332. ISBN 978-5-91812-231-0.

*Свидетельства о регистрации программных продуктов*

18. Программа построения систем назначения персонифицированного лечения для облачной платформы IASaaS / авторы Ковалев Р.И., Грибова В.В., Окунь Д.Б. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ №2020618997, дата регистрации 10.08.2020, поступл. № 2020618177 23.07.2020, опубл. 10.08.2020. Бюл. №8.

19. Автоматизированная программа определения степени риска развития туберкулеза у детей, инфицированных микобактериями туберкулеза / авторы Ковалев Р.И., Бородулина Е.А., Грибова В.В., Амосова Е.А., Бородулин Б.Е., Вдоушкина Е.С. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ №2022667000, 13.09.2022. Заявка № 2022665835 от 25.08.2022.

20. Программа управления процессом лечения больных туберкулезом легких / авторы Ковалев Р.И., Бородулина Е.А., Грибова В.В., Бородулин Б.Е., Еременко Е.П., Окунь Д.Б., Вдоушкина Е.С., Амосова Е.А. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ №2023688180, 20.12.2023. Заявка №2023686212 от 27.11.2023 // 2023. Бюл №12. 20.12.2023.

21. Система поддержки принятия врачебных решений “Телесфор” / авторы Ковалев Р.И., Шахгельдян К.И., Гельцер Б.И., Грибова В.В., Шалфеева Е.А., Макарова К.Е., Кленин А.С., Гузь В.В., Игнатъев В.В., Костерин В.В., Куксин Н.С., Здорнов О.В., Щеглов Б.О. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ №2023662121, 06.06.2023. Заявка № 2023660244 от 17.05.2023.

**Личный вклад соискателя.** Основные научные результаты, выносимые на защиту, получены автором лично. Личный вклад автора в публикациях с соавторами кратко характеризуется следующим образом: в статьях [1, 7-9, 12, 13, 15] соискателем сделан вклад в технологию разработки прикладных медицинских систем; в публикациях [2-4, 6, 9, 10, 14] представлены метод и алгоритм вывода решения на основе знаний; в публикациях [5, 11, 16] представлен метод извлечения медицинских прецедентов; в [7, 17] автором формально описана модель представления знания о лечении, а также разработан метод ее адаптации для различных условий.

Ковалев Роман Игоревич

Модели, методы и инструментальные средства для создания интеллектуальных систем по планированию и мониторингу лечения

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

Подписано к печати 15.07.2024. Усл. п.л. 1.0

Формат 60x84/16

Тираж 100 экз.

Заказ № 6

Издано: ИАПУ ДВО РАН, 690041, г. Владивосток, Радио, 5.

Отпечатано участком оперативной печати ИАПУ ДВО РАН.