

Math-Net.Ru

Общероссийский математический портал

В. В. Грибова, Р. И. Ковалев, Д. Б. Окунь, Специализированная оболочка для построения интеллектуальных систем назначения медикаментозного лечения, *Искусственный интеллект и принятие решений*, 2020, выпуск 4, 66–79

DOI: 10.14357/20718594200407

Использование Общероссийского математического портала Math-Net.Ru подразумевает, что вы прочитали и согласны с пользовательским соглашением

<http://www.mathnet.ru/rus/agreement>

Параметры загрузки:

IP: 3.144.35.147

10 января 2025 г., 08:36:35



Специализированная оболочка для построения интеллектуальных систем назначения медикаментозного лечения*

В. В. Грибова, Р. И. Ковалев, Д. Б. Окунь

Институт автоматки и процессов управления Дальневосточного отделения РАН, г. Владивосток, Россия

Аннотация. В работе проведен анализ существующих систем поддержки назначения медикаментозного лечения, выделены требования к таким системам. Описаны основные принципы разработки и архитектура интеллектуальной медицинской системы поддержки принятия решений, которая реализована как специализированная оболочка. Показаны уникальные возможности системы, а также информационные и программные компоненты, входящие в ее состав. Представленные в работе примеры демонстрируют все предлагаемые решения.

Ключевые слова: онтология, база знаний, система поддержки принятия решений, облачные технологии.

DOI 10.14357/20718594200407

Введение

Компьютерная поддержка практикующего врача при выборе оптимальной медикаментозной терапии в соответствии с индивидуальными особенностями пользователя является очень важной задачей. Основные причины - большое число медицинских ошибок (занимают третье место по смертности) [1], вызванное как субъективными факторами, так и объективными. Это связано с огромным количеством действующих веществ, их торговых наименований, показаний и противопоказаний, которые надо учитывать при назначении терапии. Помимо этого выбор терапии, дозировки, длительность приема должны приниматься не только на основе диагноза пациента, но также и с учетом его жалоб, результатов объективного, лабораторного и инструментальных исследований,

анамнеза жизни. Такое количество информации выходит за пределы когнитивных возможностей человека, что приводит к чрезмерному усложнению процесса принятия верных решений. Следует также отметить агрессивную политику фармацевтических компаний, в результате которой все больше врачей используют нерационально большое количество лекарственных препаратов у одного пациента [2]. Единственным эффективным решением, которое может существенным образом улучшить данную ситуацию, является внедрение в систему здравоохранения и клиническую медицину систем, использующих в своей работе технологии искусственного интеллекта [3]. Данные системы объединяют все доступные данные - клинические, биологические, генетические и создают оптимальные пациент-ориентированные решения [4].

Построение таких систем представляет собой наукоемкий процесс, требующий больших

* Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов № 20-07-00670_a и № 18-29-03131.

✉ Грибова Валерия Викторовна. E-mail: gribova@iacp.dvo.ru

затрат как временных, интеллектуальных, так и финансовых ресурсов. Огромное количество нозологий делает невозможным создание и сопровождение отдельной системы для каждого заболевания (либо группы заболеваний). Также очевидно, что врач в своей повседневной практике не сможет использовать множество разрозненных реализаций такого класса систем. Одним из возможных подходов к решению указанных проблем является создание специализированных программных оболочек – систем, ориентированных на решение определенного класса задач, и содержащих как набор готовых решений, так и средств автоматизации создания информационных и программных компонентов для их решения.

Целью данной работы является описание принципов создания специализированной оболочки для построения интеллектуальных медицинских систем назначения медикаментозного лечения, требований к ней и алгоритма ее работы.

1. Анализ и классификация существующих систем поддержки врача при назначении медикаментозной терапии

Системы, помогающие врачам в назначении лечения, можно разделить на три основных класса: системы на основе знаний, на основе методов машинного обучения и медицинские информационные системы.

Наиболее известными решениями, которые считаются прообразом последующих интеллектуальных систем в медицине, являются MYCIN и ONCOCIN. Система MYCIN предназначена для оказания помощи специалистам при постановке диагноза некоторых инфекционных заболеваний и рекомендации необходимого количества антибиотиков в зависимости от массы тела пациента, ONCOCIN решает задачу поддержки принятия решений при лечении пациентов, получающих химиотерапию. К числу наиболее известных также можно отнести экспертную систему AARHelp, предназначенную для поиска причины резких болей и принятие решения о необходимости хирургического вмешательства, и систему CASNET, разработанную для диагностики и выбора стратегии лечения глаукомы.

С момента появления первой экспертной системы и до настоящего времени разработано огромное количество разнообразных систем назначения лечения. Так, среди современных разработок можно выделить: систему SPELTA [5] для лечения речевых и языковых расстройств; RTP-DSS [6] для выбора режима лучевой терапии; IndiGO (Archimedes) для формирования индивидуализированных протоколов диагностики и лечения заболеваний в кардиологии, эндокринологии, а также ряд других систем [7-13].

Известными преимуществами таких систем являются помощь врачам в подборе терапии и возможность генерации объяснений, недостатками – ориентация на определенную группу заболеваний, что ограничивает их использование, особенно при сочетанной патологии [14]. Более того, в реальных условиях возникает необходимость в использовании множества разнородных систем (по различным нозологиям), которые, как правило, несовместимы и не взаимосвязаны. Еще одним недостатком подобных систем является особенность реализации их баз знаний и данных, которая не позволяет специалистам предметной медицинской области осуществлять сопровождение без IT-специалиста [15].

Типичным представителем второго класса систем (на основе методов машинного обучения) является система IBM Watson [16]. Для ее реализации использовалась огромная обучающая выборка, которая позволила назначать лечение для онкологических заболеваний. В настоящее время данное направление исследований активно развивается и к настоящему времени предложены модели, методы и системы, помогающие врачам назначать лечение для различных классов заболеваний [17-21].

Основными недостатками систем подобного типа является то, что для их успешного обучения необходимо большое количество хорошо формализованных историй болезни, что в реальных условиях обеспечить практически невозможно (процесс поиска обучающей выборки, формализации историй болезни и подготовки данных очень длительный, дорогой и трудоемкий), отсутствие возможности генерации объяснений: на основании каких критериев было назначено то или иное лечение, а также ориентированность на одну или несколько нозологий.

К третьей категории относятся всевозможные информационно-справочные системы, их часто также называют компьютерно-интерпретируемые клинические руководства. Представителями данного класса являются: Aarogya, Caresoft Hospital Information System, Medstar HIS, MMI Mediface, Clinical Rules, Droice Labs, ISABEL, Litmusdx [22, 23]. Такие системы основываются на различных базах данных и медицинских справочниках и используют различные формализмы для представления (XML, frame-based models, Task-network models, OWL-based и др.) [24-28]. Они обладают ограниченными функциональными возможностями и, по сути, являются справочной системой, помогающей проверить совместимость лекарственных средств, возможные дозировки, нозологии, при которых лекарственный препарат используется, подсказать врачу протокол лечения согласно справочнику, не учитывая персональные данные пациента, отражающие реальную клиническую картину.

Анализ существующих систем в области поддержки назначения лечения показал, что на текущий момент не существует программных решений, ориентированных на широкий спектр заболеваний, помогающих врачу назначить лечение с учетом персональных особенностей пациента, что делает работу по созданию программной оболочки для создания систем поддержки принятия решений, ориентированной на широкий спектр заболеваний важной и актуальной.

2. Основные требования и принципы создания

Выделим следующие основные требования для формирования специализированной программной оболочки (далее системы) для назначения медикаментозного лечения:

1. Система должна быть расширяемой, не зависеть от конкретного заболевания (либо их группы), раздела медицины.

Данное требование является ключевым, поскольку совершенно очевидно, что невозможно разработать и сопровождать множество разрозненных систем. Более того, врач, помощь в принятии решений которому должны обеспечить такие системы, не может и не должен использовать множество различных систем.

2. Знания в системе должны формироваться и модифицироваться в процессе эксплуатации

экспертом предметной области (либо группами экспертов) на основе собственного опыта лечения заболеваний (авторских методик, если это допустимо в медицинском учреждении), либо в соответствии с принятыми в стране клиническими рекомендациями (протоколами).

Данное требование накладывает, во-первых, условие к форме представления знаний о лечении (они должны быть понятны экспертам), во-вторых, к инструментам (редакторам) их создания и сопровождения (они должны «экранировать» пользователя от особенностей языков представления знаний, иметь интуитивно понятный интерфейс).

3. Средства создания баз знаний, а также готовые системы поддержки принятия решений должны быть доступны широкому профессиональному сообществу без необходимости дополнительной установки на компьютеры пользователей.

4. Система должна назначать лечение с учетом персональных особенностей пациента, генерируя детализированные обоснования принятых решений.

Одним из решений выполнения указанных требований является использование онтологического подхода, который, как отмечено в [29], стал де-факто стандартом при разработке систем на основе баз знаний. При наличии соответствующих редакторов (управляемых онтологией) он обеспечит понятность формирования знаний, возможность реализации единственного (унифицированного) онтологически ориентированного решателя, а также формирование детализированного объяснения. Для выполнения требования 3 система должна быть реализована как облачный сервис.

3. Архитектура специализированной интеллектуальной оболочки для назначения медикаментозного лечения

В состав интеллектуальной оболочки для назначения медикаментозного лечения входят информационные и программные компоненты (Рис. 1). К информационным относятся онтологии и порожденные на их основе базы данных и знаний, к программным – редакторы знаний и данных, а также решатель задач.

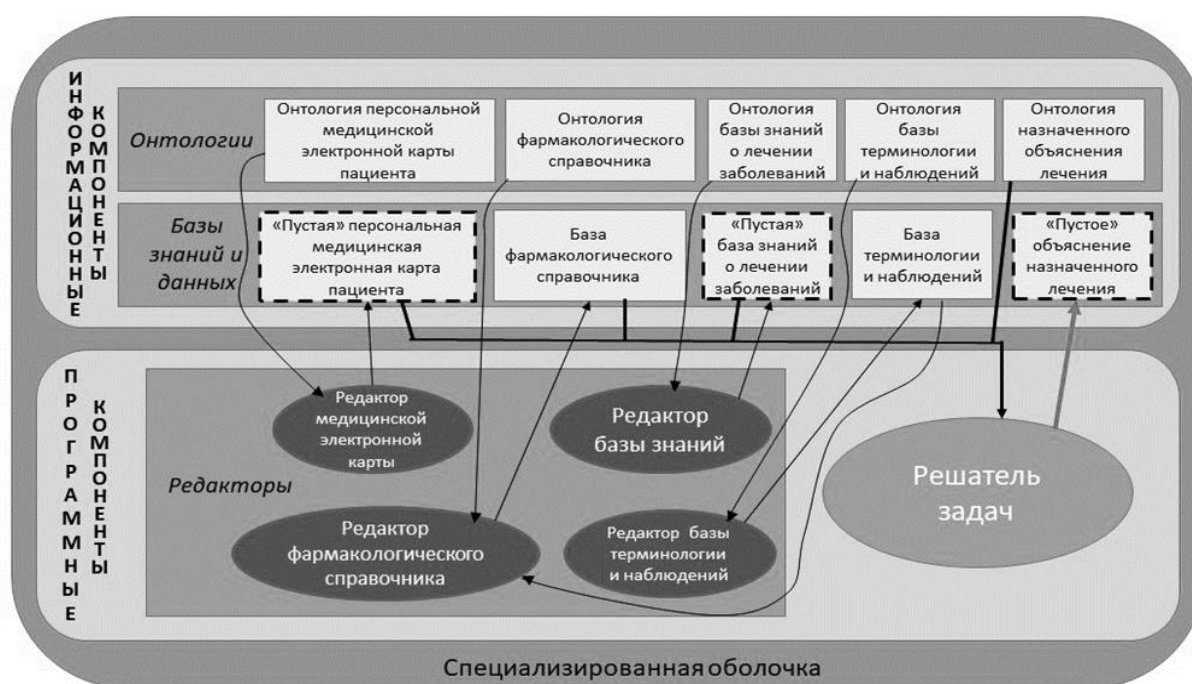


Рис. 1. Концептуальная архитектура специализированной оболочки

Средством реализации оболочки является платформа IACPaaS (<https://iacpaas.dvo.ru>) [30]. Она поддерживает создание систем с базами знаний на основе двухуровневого онтологического подхода. Его принципиальными особенностями и отличиями от остальных подходов к формированию онтологических баз знаний являются:

- явное отделение онтологии от базы знаний, сформированной на ее основе, т.е. онтология не содержит предметных знаний. При этом база знаний, формируемая как отдельный информационный ресурс, формируется в терминах онтологии. Для создания оболочек это является исключительно важным свойством, поскольку на основе одной онтологии можно сформировать множество различных, отделенных друг от друга баз знаний и единый решатель, независимый от конкретного наполнения (базы знаний). По сути, онтология знаний выступает в качестве формального параметра решателя, база знаний – его фактического параметра. Бесспорно, создание онтологии – это отдельный, сложный творческий процесс, от качества ее создания зависит успех продукта в целом;

- онтологии, базы знаний/данных представлены семантическими сетями, что, согласно [31], обеспечивает эффективное отображение понятийной системы человека;

- язык ИРУО для описания онтологий [32] позволяет задать не только структуру и терминологию предметной области, но также с помощью спецификаторов и ограничителей языка определить правила порождения целевых баз знаний и онтологические соглашения, которые должны выполняться при их построении.

4. Информационные компоненты разрабатываемой оболочки

Для достижения поставленной цели были разработаны следующие информационные компоненты [33, 34]: онтология знаний о лечении заболеваний, позволяющая описать различные модели и схемы медикаментозной терапии с учетом персональных данных пациента, особенности клинической картины заболевания, сочетаемости лекарственных средств; онтология фармакологического справочника; онтология базы медицинской терминологии и наблюдений; онтология персональной медицинской электронной карты пациента. На основе данных онтологий созданы информационные ресурсы, позволяющие формировать современные знания о лечении заболевания независимо от клинического раздела медицины и открывающие возможность в реализации программ лечения с учетом персональных данных пациента.

Онтология знаний о лечении заболеваний позволяет формировать знания лечения конкретного заболевания или некоторой группы заболеваний, которые имеют общие патогенетические принципы, этиологическую компоненту или клинически важные симптоматические проявления. Для реализации данной идеи в онтологии предусмотрены следующие вершины.

Заболевание - раздел онтологии, который определяет название патологического процесса и объединяет все элементы знаний о его лечении. В структуре раздела присутствуют вершины: *Коды МКБ* - определяют шифр согласно МКБ-10; *Рекомендации* - обобщенный перечень основных правил для коррекции образа жизни в процессе лечения; *Модель терапии* - логически завершенные представления о принципах и объемах терапии данного патологического процесса, включающие *Вид*, *Цель*, *Схему терапии*. Ключевым элементом онтологии является сложно структурированный блок условий, сопровождающий каждый раздел онтологии и позволяющий описать в формальном представлении необходимые клинические критерии, которые определяют условия его применения в лечении данного заболевания (Рис. 2).

Вид терапии – термин, объединяющий целый класс понятий, описывающий непосредственно сам вид терапии: этиотропная, патогенетическая, симптоматическая, эмпирическая и другие виды терапии.

Цель терапии – класс понятий, характеризующий цель проводимого лечения: гемостатическая терапия, противорвотная терапия, противозудная, дезинтоксикационная или муколитическая терапия. Признаки, определяющие цель терапии - описание клинических данных позволяющих распознать достижения поставленных целей терапии.

Схема терапии – термин определяющий перечень действующих веществ, их сочетания, режим приема и дозировки лекарственных средств (ЛС) для оптимального лечения заболевания. Данный раздел онтологии структурирован следующим образом: *Условие для использования данной группы ЛС*, *Группа альтернативно используемых ЛС*, *Комплексно используемые ЛС*.

Группа альтернативно используемых ЛС содержит следующие вершины: *Действующее вещество* и *Совместно используемые ЛС*. *Действующее вещество* - перечень ЛС, из которого выбирается одно ЛС с наилучшими характеристиками для конкретного клинического случая. *Совместно используемые ЛС* - группа лекарственных средств, которая для достижения клинического результата должна использоваться совместно.

Каждое ЛС описывается группой терминов определяющих его клиническую необходимость: *Вариант назначения*, включающий элементы: *Дозировка*, *Форма выпуска*, *Способ применения*, *Кратность применения*, *Продолжительность применения*. Помимо этого, для каждого ЛС указываются: *Контрольные точки оценки эффективности терапии*, *Контроль ожидаемых побочных действий*, *Условие на действующее вещества* и *Торговые названия действующего вещества*. *Контрольные точки оценки эффективности терапии* - термин онтологии, позволяющий осуществлять мониторинг применения действующего вещества. Он включает описания признака/ов заболевания для проведения мониторинга лечения. *Контроль ожидаемых побочных действий* – термин онтологии, определяющий безопасность использования ЛС и включает признак, описывающий вариант побочного/нежелательного эффекта и частоту его контроля (Рис. 3,а).

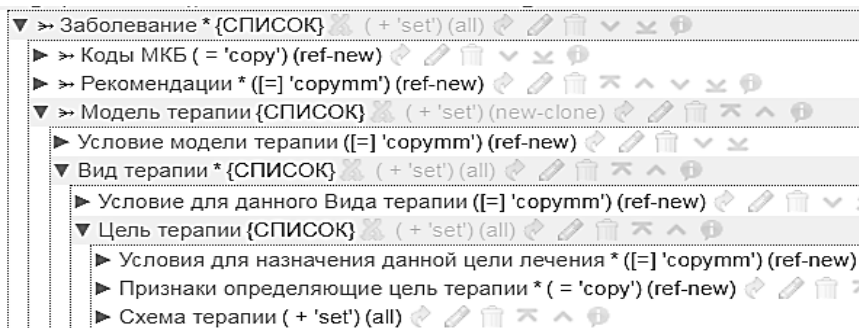


Рис. 2. Фрагмент онтологии базы знаний о лечении заболеваний, размещенной на облачной платформе IACSaaS

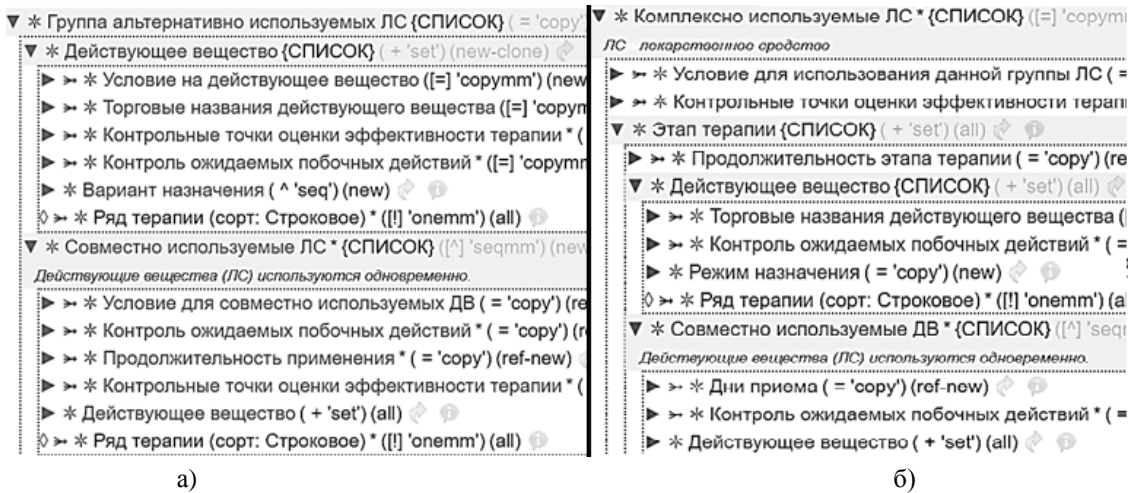


Рис. 3. Фрагмент онтологии базы знаний о лечении заболеваний
 а - группа альтернативно используемых ЛС; б - комплексно используемые ЛС

Комплексно используемые ЛС – раздел онтологии позволяет описывать знания о многокомпонентной и многоэтапной медикаментозной терапии, в основе которой лежит структура описания ЛС (Рис. 3,б).

Онтология объяснения назначенного лечения описывает структуру объяснения

результата работы системы. Структура онтологии представлена на Рис. 4. Объяснение, генерируемое на основе онтологии, формирует три основных блока:

- назначенное лечение (множество действующих веществ с указанием формы, дозировки - суточной и курсовой, а также объяснение



Рис. 4. Структура онтологии объяснения назначенного лечения

того, какие цели реализует назначение каждого из действующих веществ);

- неназначенное лечение - множество отклоненных системой действующих веществ с указанием того, почему не назначено то или иное действующее вещество для данного пациента (на основе анализа его электронной карты);

- множество действующих веществ, для назначения которых не хватило тех или иных исходных данных из электронной карты, например, информации о заболеваниях и наличии аллергий на лекарства.

Онтология фармакологического справочника включает элементы, позволяющие описать непосредственно лекарственное средство в виде международного непатентованного наименования (МНН) или фиксированной комбинации МНН, а также раздел специфических

фармакологических терминов. Основные разделы онтологии представлены на Рис. 5, а.

Важным компонентом данной онтологии, отличающей ее от других, является формальное описание наборов возможных признаков и их значений (диапазонов значений), которыми выступают жалобы больного, результаты лабораторных или инструментальных исследований, различные факторы из анамнеза жизни. Формально описанные признаки используются для указания условий на противопоказания, побочные действия ЛС, возможные аллергические реакции.

Еще одной характерной особенностью онтологии фармакологического справочника является блок *Применение: болезни или состояния (нозологический классификатор МКБ)* (Рис. 5,б). Он необходим для описания уровня

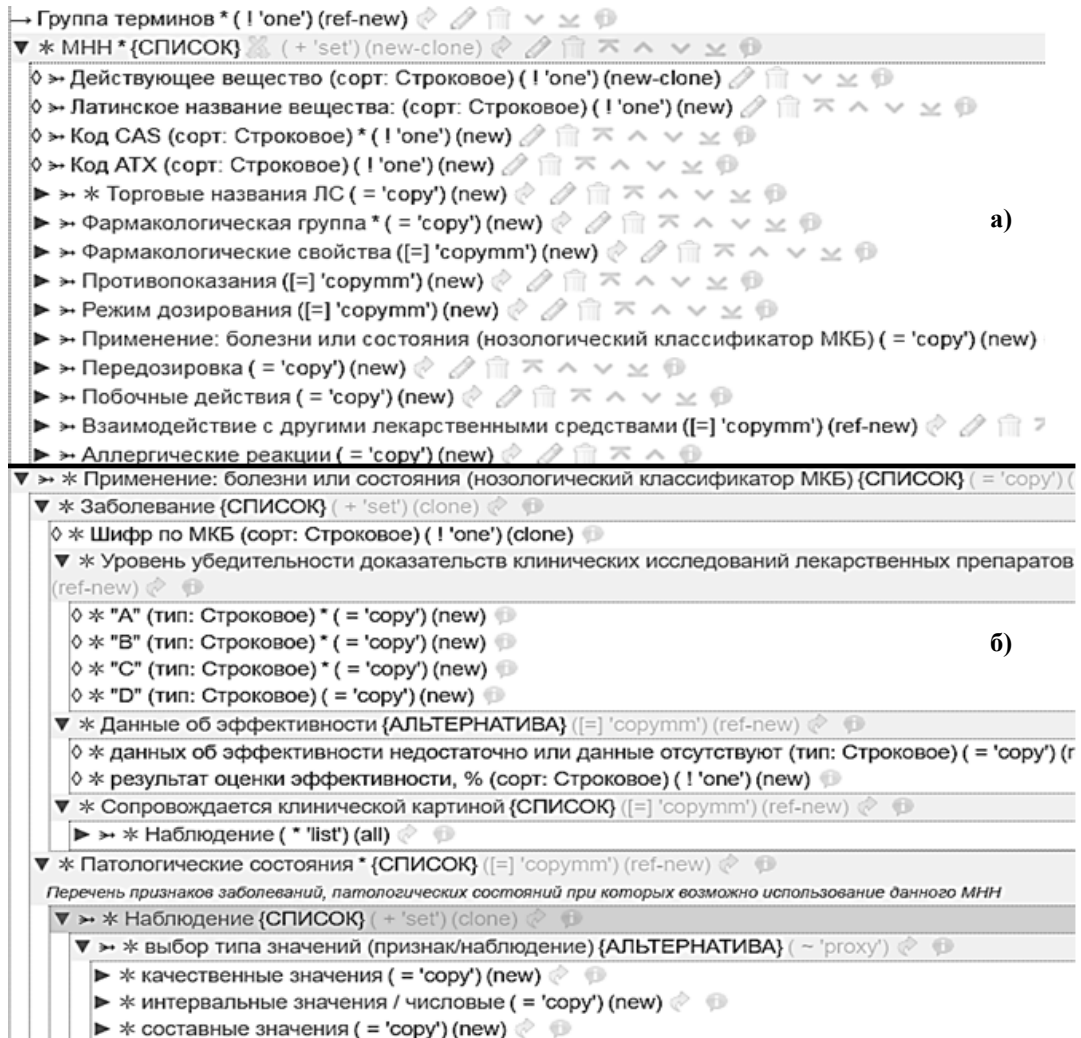


Рис. 5. Онтология фармакологического справочника

а - основные разделы онтологии; б - блок онтологии «Применение»

эффективности использования данного ЛС для конкретного заболевания либо патологического состояния. Этот раздел важен для выбора наиболее эффективного ЛС из множества возможных при назначении лечения.

Онтология базы медицинской терминологии и наблюдений описывает структуру используемых на практике медицинских терминов и наблюдений, а также структуру вспомогательной терминологии, необходимой для целостности описания медицинских знаний. В структуре онтологии имеет место использование синонимии.

Термины для упрощения их поиска и навигации, могут состоять из групп терминов, которые также, в свою очередь, могут содержать группы терминов. Каждый термин характеризуется своим именем и множеством возможных синонимов: *<(имя термина, множество синонимов термина)>*.

Наблюдения имеют следующую структуру: *Группа наблюдений* и *Группа факторов*. Группа наблюдений содержит множество сгруппированных признаков. Группирование признаков группы наблюдений позволит оптимизировать структуру медицинской терминологии: *Жалобы, Данные объективного исследования, Данные лабораторных и Данные инструментальных исследований*. Группа признаков имеет множество признаков, которые могут быть следующих типов: *<Простой признак, Составной признак, Признак с учетом единицы измерения, пола и возраста>*.

Группа факторов позволяет не только описывать единичные элементы: *Фактор, Факт или событие*, но и осуществлять их группировку.

Признак, фактор и факт или событие могут иметь качественные, количественные или составные значения. Если значение является составным, то оно состоит из множества характеристик. Например, признак *Головная боль* в базе медицинской терминологии и наблюдений, является составным и состоит из следующих характеристик: присутствие, локализация, интенсивность, выраженность, периодичность, время возникновения и др. База медицинской терминологии и наблюдений, сформированная по соответствующей онтологии, является универсальным ресурсом, применяемым для формирования диагностических и лечебных баз знаний в различных областях медицины. В на-

стоящее время база медицинской терминологии, сформированная по онтологии, содержит более 27 тысяч различных понятий.

Онтология персональной электронной медицинской карты (ПЭМК) задает структуру описания здоровья человека на всем его жизненном пути. Данная структура позволяет описать все случаи оказания медицинской помощи, профилактических мероприятий и оперативно предоставить доступ к информации о проведенных исследованиях, случаях амбулаторно-поликлинического, стационарного и санаторно-курортного лечения пациента, вызовах скорой помощи, содержит раздел о противопоказаниях к применению тех или иных видов лечения для конкретного пациента и перечень непереносимых препаратов. Созданный на основе данной онтологии ресурс позволит быстро находить существующую и добавлять новую информацию обо всех случаях оказания пациенту медицинской помощи, а также в автоматизированном режиме формировать медицинские документы. В отличие от существующих ПЭМК, входящих в состав большинства медицинских информационных систем (МИС), все ее структурные элементы представлены формально (в МИС большинство разделов ПЭМК имеют текстовое описание, например, жалобы, анамнез жизни и др.). Имена используемых терминов (признаков, факторов и событий), а также их значений выбираются из базы медицинской терминологии, описанной выше.

Таким образом, в состав оболочки входит набор онтологий, базы фармакологического справочника, онтологии терминологии и наблюдений, в терминах которых формируются базы знаний по лечению заболеваний и электронная карта пациента. Важно отметить, что использование онтологического подхода позволяет дополнять указанные базы, базы знаний без изменения решателя задач.

5. Программные компоненты разрабатываемой оболочки

Программными компонентами оболочки являются средства редактирования знаний и данных, а также решатель задач.

Средства редактирования знаний и данных представлены рядом редакторов (Рис. 1). Редактор баз знаний, автоматически генерирует

мый по онтологии (генератор редакторов входит в состав платформы), обеспечивает порождение целевых ресурсов (баз знаний и данных) в соответствии с заданными правилами и контролирует выполнение онтологических соглашений. Более того, автоматически проверяется полнота сформированной базы знаний. Дополнительными средствами, обеспечивающими качество знаний, является их формирование на основе единой терминологической базы, которая обеспечивает однозначную интерпретацию сформированных знаний медицинским сообществом (при этом база терминологии и наблюдений допускает синонимию). Средства платформы также имеют инструменты верификации базы знаний на базе эталонных примеров (в

данном случае ими выступают ПЭМК). Таким образом, формальная полнота базы знаний, синтаксическая правильность сформированной базы знаний, частично семантическая правильность обеспечиваются средствами платформы. Дополнительная проверка семантической корректности, которую невозможно осуществить автоматически, производится экспертами предметной области. Они, во-первых, могут просматривать базу знаний в удобном для них виде (предлагается три способа визуализации базы знаний), а также проверять ее корректность с помощью тестирования на ПЭМК (Рис. 6). Детализированное объяснение, генерируемое системой, заметно упрощает этот процесс.



Рис. 6. Интерфейс редактора базы знаний о лечении анемии

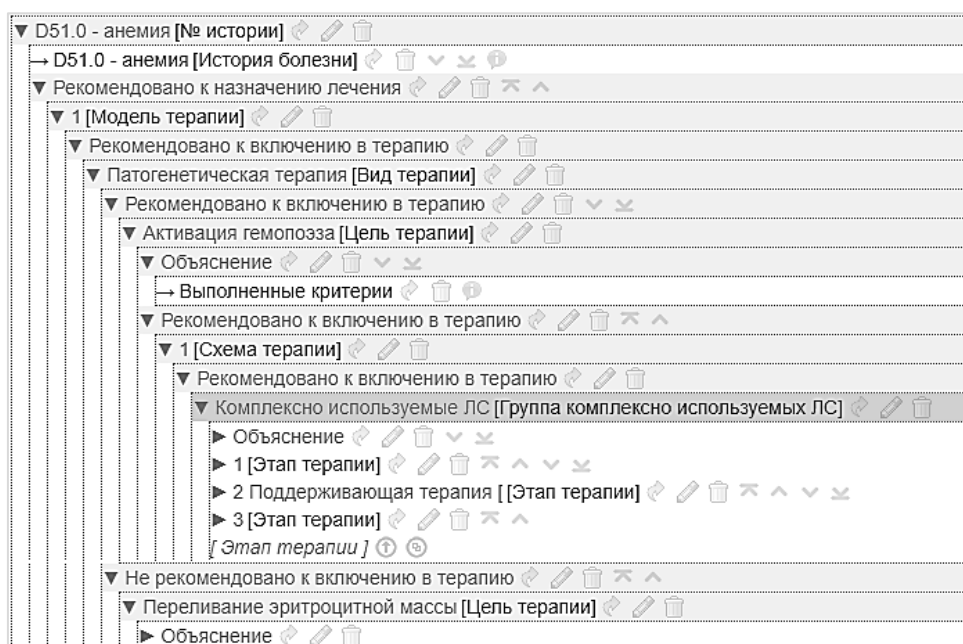


Рис. 7. Объяснение назначенного лечения

Решатель задач представляет собой онтолого-ориентированный алгоритм (ontological reasoner), который для назначения персонализированного лечения производит обход декларативной базы знаний о лечении некоторого заболевания в соответствии с онтологией и сопоставляет информацию из базы знаний входной информации, которой является персональная медицинская карта пациента (ПЭМК). Задача такого «обхода» состоит в поиске элементов (наблюдений) в ПЭМК, влияющих на назначение лечения и сравнение их значений с диапазонами значений соответствующих наблюдений в базе знаний с целью построения персонализированного назначения ЛС с указанием разовой, дневной, курсовой их дозировки, совместимости и особенностей проведения курса лечения, а также построения детализированного объяснения почему то или иное действующее вещество назначено/не назначено и какие наблюдения необходимо дополнительно провести, чтобы назначить необходимые при данном заболевании ЛС.

Реализация решателя выполнена с использованием мультиагентного подхода и состоит из двух агентов: корневого и рабочего. Корневой агент является управляющим, он инициализирует (запускает) работу системы через сообщение рабочему агенту, передавая ему все входные информационные ресурсы и завершает ее

на основе сообщения от рабочего агента. Рабочий агент непосредственно реализует основную бизнес-логику: получает на вход персональную медицинскую карту, считывает значение термина <Заключительный диагноз>, производит поиск этого значения в базе знаний о лечении заболеваний. В соответствии с базой знаний о заболевании анализирует модели терапии, их виды, цели, схемы приема на каждом шаге, проверяя соответствующие условия, значения которых анализируются по медицинской электронной карте. В результате работы данного агента формируется информационный ресурс с детализированным объяснением назначенного лечения для конкретного пациента (Рис. 7), либо формируется объяснение, почему то или иное ДВ не назначено: каких признаков (из анамнеза жизни, лабораторных, инструментальных, объективных методов исследования и др.) не хватает для назначения лечения.

Заключение

В работе дан обзор современному состоянию в области разработки систем, помогающих врачу назначить медикаментозное лечение с учетом его персональных данных (анамнеза жизни, сопутствующих заболеваний, возраста, предъявляемых жалоб и др.). Существующие системы разделены на три основных класса,

дана их характеристика, приведены примеры систем, их особенности. Основными недостатками предложенных систем являются их узкая направленность на конкретное заболевание или узкую группу заболеваний, а также невозможность экспертам предметной области самостоятельно формировать и сопровождать базы знаний. Для устранения данных недостатков предложен новый подход и архитектура специализированной оболочки для создания систем поддержки принятия решения при назначении медикаментозной терапии с учетом персональных особенностей пациента. Оболочка основана на онтологическом подходе и не зависит от конкретной нозологии.

Особенностями разработанной оболочки, принципиально отличающими ее от других медицинских систем, является:

- ориентация на широкий спектр заболеваний; для реализации конкретной системы на основе оболочки необходимо добавить в нее соответствующие знания о лечении заболевания;

- все информационные ресурсы формируются с использованием редакторов знаний/данных, управляемых соответствующими онтологиями, что соответствует современному подходу к разработке интеллектуальных систем; использование онтологического подхода и редактора, имеющего несколько вариантов пользовательского интерфейса, управляемого онтологией, позволяет включить в процесс разработки медицинской интеллектуальной системы экспертов предметной области;

- онтологии, базы данных и базы знаний имеют семантическое представление (иерархические семантические сети);

- наличие онтологии, по которой формируются базы знаний, обеспечивает контроль целостности сформированной базы знаний; при ее формировании также учитываются семантические и синтаксические ограничения, которые значительно уменьшают число ошибок при формировании экспертами базы знаний и упрощают ее последующую отладку;

- база знаний отделена от программного кода, что позволяет экспертам предметной области обеспечивать непрерывное ее совершенствование без участия программистов (без изменения онтолого-ориентированного решателя);

- результатом работы системы являются не только возможные варианты лечения, соответст-

вующие персональным особенностям пациента (на каждом шаге выбора терапии проверяются условия назначения), но и детализированное объяснение, почему то или иное ЛС назначено/не назначено, либо подсказка врачу в необходимости провести дополнительные исследования для назначения терапии;

- наличие единой онтологии, по которой формируются базы знаний о планировании лечения и онтологического решателя, позволяет назначать лечение при сочетанной патологии (нескольких заболеваниях одновременно); при этом осуществляется контроль возможного дублирования назначений;

- онтология позволяет описать несколько моделей терапии для лечения одного заболевания что, при накоплении прецедентов, позволяет не только верифицировать базу знаний, но и обеспечить анализ эффективности терапии;

- оболочка и среда для его управления реализованы как облачные сервисы. Это позволяет увеличить аудиторию пользователей, а также разрабатывать базы знаний о лечении экспертам предметной области независимо от их географического положения.

На основе разработанной оболочки к настоящему времени уже реализованы прикладные системы назначения медикаментозного лечения язвенной болезни желудка и двенадцатиперстной кишки, лямблиоза, симптоматической терапии когнитивных нарушений. С использованием данной оболочки, по просьбе Ассоциации неправительственных медицинских учреждений Китая, реализована система назначения лечения коронавирусной инфекции COVID-19 методами традиционной китайской терапии. Данная система была реализована в разгар эпидемии коронавируса (начало февраля 2020 г.) в течение нескольких дней. Информация об этой системе освещалась в российских и китайских СМИ [35-37]. Именно оболочка позволила в короткие сроки реализовать готовую для использования систему. Следует заметить, что система была реализована на китайском языке (платформа IACPaasS поддерживает автоматический перевод на китайский и английский языки, при этом, в случае некорректного автоматического перевода, эксперты вручную могут внести изменения). Оболочка также показала ее применимость и для назначения лечения методами традиционной

китайской терапии. База знаний была разработана на основе Diagnosis and Treatment Protocols for Patients with Novel Coronavirus Pneumonia, подготовленной The General Office of National Health Commission of China.

В настоящее время на основе оболочки реализуются системы по назначению лечения для ряда нозологий. Коллектив авторов продолжает работу над совершенствованием оболочки. В будущем планируется создание подсистем индуктивного формирования базы знаний на основе обучающей выборки (ПЭМК), а также формирование базы знаний из текстов клинических рекомендаций.

Литература

1. Makary M. A., Daniel M. Medical error—the third leading cause of death in the US // *Bmj*. – 2016. Т. 353.
2. Masnoon, Nashwa et al. "What is polypharmacy? A systematic review of definitions." *BMC geriatrics* 17.1 (2017): 230.
3. Lysaght T., Lim HY, Xafis V. et al. *ABR* (2019) 11: 299. <https://doi.org/10.1007/s41649-019-00096-0>.
4. Кобринский Б. А. Особенности медицинских интеллектуальных систем // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2013. Т. 11. № 5. С. 58–64.
5. Vladimir E. Robles-Bykbaev, Martín López-Nores, José J. Pazos-Arias, Daysi Arévalo-Lucero "SPELTA: An expert system to generate therapy plans for speech and language disorders".
6. Watkins W. et al. A Radiation Therapy Treatment Planning Decision Support System (RTP-DSS) for Selecting Patient-Specific Optimal Treatment // *International Journal of Radiation Oncology• Biology• Physics*. 2016. Т. 96. №. 2. С. S82.
7. Khozimeh F. et al. An expert system for selecting wart treatment method // *Computers in biology and medicine*. 2017. Т. 81. С. 167-175.
8. Jiang X. et al. A clinical decision support system learned from data to personalize treatment recommendations towards preventing breast cancer metastasis // *PloS one*. 2019. Т. 14. №. 3.
9. Abu-Naser, Samy & Al-Dahdooh, Rami. (2016). Lower Back Pain Expert System Diagnosis And Treatment. Lower Back Pain Expert System Diagnosis And Treatment.
10. Zhang Y. F. et al. Design and development of a sharable clinical decision support system based on a semantic web service framework // *Journal of medical systems*. 2016. Т. 40. №. 5. С. 118.
11. Goldstein M. K. et al. Patient safety in guideline-based decision support for hypertension management: ATHENA DSS // *Proceedings of the AMIA Symposium*. – American Medical Informatics Association. 2001. С. 214.
12. Peleg M. et al. MobiGuide: a personalized and patient-centric decision-support system and its evaluation in the atrial fibrillation and gestational diabetes domains // *User Modeling and User-Adapted Interaction*. 2017. Т. 27. №. 2. С. 159-213.
13. Koutkias V. et al. Knowledge engineering for adverse drug event prevention: On the design and development of a uniform, contextualized and sustainable knowledge-based framework // *Journal of biomedical informatics*. 2012. Т. 45. №. 3. С. 495-506.
14. Bilici E., Despotou G., Arvanitis T. N. The use of computer-interpretable clinical guidelines to manage care complexities of patients with multimorbid conditions: a review // *Digital health*. – 2018. Т. 4.
15. Zacharias V. Development and verification of rule based systems—a survey of developers // *International Workshop on Rules and Rule Markup Languages for the Semantic Web*. – Springer, Berlin, Heidelberg. 2008. С. 6-16.
16. IBM Watson has graduated from school and got a job [Электронный ресурс]. URL: <http://habrahabr.ru/company/ibm/blog/169067/> (дата обращения: 22.03.2020).
17. Rajkomar A., Dean J., Kohane I. Machine learning in medicine // *New England Journal of Medicine*. 2019. Т. 380. №. 14. С. 1347-1358.
18. Yahyaoui A. et al. A Decision Support System for Diabetes Prediction Using Machine Learning and Deep Learning Techniques // *2019 1st International Informatics and Software Engineering Conference (UBMYK)*. IEEE. 2019. С. 1-4.
19. Anakal S., Sandhya P. Clinical decision support system for chronic obstructive pulmonary disease using machine learning techniques // *2017 International Conference on Electrical, Electronics, Communication, Computer, and Optimization Techniques (ICEECCOT)*. IEEE. 2017. С. 1-5.
20. Ray M., Qidwai U. "Machine learning in medicine: calculating the minimum dose of haemodialysis using neural networks," *Annual Technical Conference IEEE Region 5, 2003, New Orleans, LA, USA*. 2003. P. 23-27.
21. Hwang Y. et al. Identifying the common genetic networks of ADR (adverse drug reaction) clusters and developing an ADR classification model // *Molecular BioSystems*. 2017. Т. 13. №. 9. С. 1788-1796.
22. Top 10 Hospital Information System You Need to Know About, 2019, [Электронный ресурс] URL: <https://www.softwaresuggest.com/blog/top-hospital-information-system/> (дата обращения: 20.03.2020).
23. Shahsavarani A. M. et al. Clinical decision support systems (CDSSs): state of the art review of literature // *International Journal of Medical Reviews*. 2015. Т. 2. №. 4. С. 299-308.
24. Jenders R. A. et al. Evolution of the Arden Syntax: key technical issues from the standards development organization perspective // *Artificial intelligence in medicine*. 2018. Т. 92. С. 10-14.
25. Peleg M. et al. Comparing computer-interpretable guideline models: a case-study approach // *Journal of the American Medical Informatics Association*. 2003. Т. 10. №. 1. С. 52-68.
26. Shiffman R. N. et al. An approach to guideline implementation with GEM // *Studies in health technology and informatics*. 2001. №. 1. С. 271-275.
27. Peleg M. et al. Assessment of a personalized and distributed patient guidance system // *International journal of medical informatics*. 2017. Т. 101. С. 108-130.

28. Jafarpour B., Abidi S. R. Exploiting semantic web technologies to develop OWL-based clinical practice guideline execution engines //IEEE journal of biomedical and health informatics. 2014. Т. 20. №. 1. С. 388-398.
29. Гаврилова Т. А., Страхович Э. В. Визуально-аналитическое мышление и интеллект-карты в онтологическом инжиниринге //Онтология проектирования. 2020. Т. 10. №. 1. С. 87-99.
30. Грибова В. В. и др. Облачная платформа IASpaas для разработки оболочек интеллектуальных сервисов: состояние и перспективы развития //Программные продукты и системы. 2018. Т. 31. №. 3.
31. Ausubel D. P. Educational psychology: A cognitive view / D. P. Ausubel. New York. Holt. Rinehart and Winston. 1968. 733 p.
32. Gribova V.V., Kleshchev A.S., Moskalenko F.M., Timchenko V.A. A Model for Generation of Directed Graphs of Information by the Directed Graph of Metainformation for a Two_Level Model of Information Units with a Complex Structure // Automatic Documentation and Mathematical Linguistics. 2015. Vol. 49. No. 6. С. 221-231.
33. Грибова В. В., Окунь Д. Б. Онтологии для формирования баз знаний и реализации лечебных мероприятий в медицинских интеллектуальных системах //Информатика и системы управления. 2018. №. 3. С. 71-80.
34. Gribova V. V. et al. Software Toolkit for Creating Intelligent Systems in Practical and Educational Medicine //2018 3rd Russian-Pacific Conference on Computer Technology and Applications (RPC). IEEE. 2018. С. 1-5.
35. Диагноз поставит искусственный интеллект 2020 [Электронный ресурс] URL: <https://rg.ru/2020/02/04/reg-dfo/uchenye-privlecut-iskusstvennyj-intellekt-dlia-diagnostiki-koronavirusa.html> (дата обращения: 23.08.2020).
36. Помощник в лечении коронавируса с искусственным интеллектом: ноу-хау из Приморья [Электронный ресурс] URL: <https://www.vesti.ru/videos/show/vid/825790> (дата обращения: 23.08.2020).
37. Китайские врачи в Ухани будут использовать программу диагностики коронавируса, разработанную в Приморье [Электронный ресурс] URL: <http://www.interfax-russia.ru/FarEast/news.asp?sec=1671&id=1101675> (дата обращения: 23.08.2020).

Specialized Shell for Intelligent Systems of Prescribing Medication

V. V. Gribova, R. I. Kovalev, D. B. Okun

Institute of Automation and Control Processes Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russia

Abstract. The paper analyzes the existing decision support systems for medication prescription. A detailed survey of their functionality and implementation methods was given. The main principles of development and architecture of an intelligent medical decision support system are described. This system is implemented as a specialized shell. The specialized shell is based on the use of the ontological approach, in accordance with which all information resources - knowledge and data bases are formed on the basis of ontologies. The unique features of the system, as well as information and software components that are part of it, are described. In this paper the examples presented demonstrate all the proposed solutions.

Keywords: ontology, knowledge base, decision support system, cloud technologies.

DOI 10.14357/20718594200407

References

1. Makary M. A., Daniel M. Medical error—the third leading cause of death in the US //Bmj. 2016. P. 353.
2. Masnoon, Nashwa, et al. "What is polypharmacy? A systematic review of definitions." BMC geriatrics 17.1 (2017): 230.
3. Lysaght, T., Lim, HY, Xafis, V. et al. ABR (2019) 11: 299. <https://doi.org/10.1007/s41649-019-00096-0>.
4. Kobrinskij B. A. Features of medical intelligent systems // Informacionno-izmeritel'nye i upravljajushhie sistemy (in Russian). 2013. Т. 11. № 5. P. 58–64.
5. Vladimir E. Robles-Bykbaev, Martín López-Nores, José J. Pazos-Arias, Daysi Arévalo-Lucero "SPELTA: An expert system to generate therapy plans for speech and language disorders".
6. Watkins W. et al. A Radiation Therapy Treatment Planning Decision Support System (RTP-DSS) for Selecting Patient-Specific Optimal Treatment //International Journal of Radiation Oncology• Biology• Physics. 2016. Т. 96. №. 2. P. S82.
7. Khozeimeh F. et al. An expert system for selecting wart treatment method //Computers in biology and medicine. 2017. Т. 81. P. 167-175.
8. Jiang X. et al. A clinical decision support system learned from data to personalize treatment recommendations towards preventing breast cancer metastasis //PloS one. 2019. Т. 14. №. 3.
9. Abu-Naser, Samy & Al-Dahdooh, Rami. (2016). Lower Back Pain Expert System Diagnosis And Treatment. Lower Back Pain Expert System Diagnosis And Treatment.

10. Zhang Y. F. et al. Design and development of a sharable clinical decision support system based on a semantic web service framework // *Journal of medical systems*. 2016. T. 40. №. 5. P. 118.
11. Goldstein M. K. et al. Patient safety in guideline-based decision support for hypertension management: ATHENA DSS // *Proceedings of the AMIA Symposium*. American Medical Informatics Association. 2001. P. 214.
12. Peleg M. et al. MobiGuide: a personalized and patient-centric decision-support system and its evaluation in the atrial fibrillation and gestational diabetes domains // *User Modeling and User-Adapted Interaction*. 2017. T. 27. №. 2. P. 159-213.
13. Koutkias V. et al. Knowledge engineering for adverse drug event prevention: On the design and development of a uniform, contextualized and sustainable knowledge-based framework // *Journal of biomedical informatics*. 2012. T. 45. №. 3. P. 495-506.
14. Bilici E., Despotou G., Arvanitis T. N. The use of computer-interpretable clinical guidelines to manage care complexities of patients with multimorbid conditions: a review // *Digital health*. – 2018. T. 4.
15. Zacharias V. Development and verification of rule based systems—a survey of developers // *International Workshop on Rules and Rule Markup Languages for the Semantic Web*. Springer, Berlin, Heidelberg. 2008. P. 6-16.
16. IBM Watson has graduated from school and got a job, Available at: <http://habrahabr.ru/company/ibm/blog/169067/> (accessed May 25, 2020).
17. Rajkomar A., Dean J., Kohane I. Machine learning in medicine // *New England Journal of Medicine*. 2019. T. 380. №. 14. P. 1347-1358.
18. Yahyaoui A. et al. A Decision Support System for Diabetes Prediction Using Machine Learning and Deep Learning Techniques // *2019 1st International Informatics and Software Engineering Conference (UBMYK)*. IEEE. 2019. P. 1-4.
19. S. Anakal S., Sandhya P. Clinical decision support system for chronic obstructive pulmonary disease using machine learning techniques // *2017 International Conference on Electrical, Electronics, Communication, Computer, and Optimization Techniques (ICEECCOT)*. IEEE. 2017. P. 1-5.
20. M. Ray, Qidwai U. "Machine learning in medicine: calculating the minimum dose of haemodialysis using neural networks," *Annual Technical Conference IEEE Region 5*. 2003. New Orleans. LA. USA. 2003. P. 23-27.
21. Hwang Y. et al. Identifying the common genetic networks of ADR (adverse drug reaction) clusters and developing an ADR classification model // *Molecular BioSystems*. 2017. T. 13. №. 9. P. 1788-1796.
22. Top 10 Hospital Information System You Need to Know About, 2019, Available at: <https://www.softwaresuggest.com/blog/top-hospital-information-system/> (accessed July 28, 2020).
23. Shahsavaran A. M. et al. Clinical decision support systems (CDSSs): state of the art review of literature // *International Journal of Medical Reviews*. 2015. T. 2. №. 4. P. 299-308.
24. Jenders R. A. et al. Evolution of the Arden Syntax: key technical issues from the standards development organization perspective // *Artificial intelligence in medicine*. 2018. T. 92. P. 10-14.
25. Peleg M. et al. Comparing computer-interpretable guideline models: a case-study approach // *Journal of the American Medical Informatics Association*. 2003. T. 10. №. 1. P. 52-68.
26. Shiffman R. N. et al. An approach to guideline implementation with GEM // *Studies in health technology and informatics*. 2001. №. 1. P. 271-275.
27. Peleg M. et al. Assessment of a personalized and distributed patient guidance system // *International journal of medical informatics*. – 2017. – T. 101. – P. 108-130.;
28. Jafarpour B., Abidi S. R., Abidi S. S. R. Exploiting semantic web technologies to develop OWL-based clinical practice guideline execution engines // *IEEE journal of biomedical and health informatics*. 2014. T. 20. №. 1. P. 388-398.
29. GavriloVA T. A., Strahovich Je. V. Visual-analytical thinking and intelligence maps in ontological engineering // *Ontologija proektirovanija* (in Russian). 2020. T.10. №.1. P.87-99.
30. GriboVA V.V., Kleshchev A.S., Moskalenko F.M., Timchenko V.A., Fedorishchev L.A., Shalfeeva E.A. IACPaaS cloud platform for the development of intelligent service shells: current state and future evolution // *International journal "Programmye produkty i sistemy"* (Software & Systems) (in Russian). 2018. vol. 31. no. 3. P. 527–536.
31. Ausubel, D. P. *Educational psychology: A cognitive view* / D. P. Ausubel. - New York, Holt, Rinehart and Winston. 1968. 733 p.
32. GriboVA V.V., Kleshchev A.S., Moskalenko F.M., Timchenko V.A. A Model for Generation of Directed Graphs of Information by the Directed Graph of Metainformation for a Two_Level Model of Information Units with a Complex Structure // *Automatic Documentation and Mathematical Linguistics* (in Russian). 2015. Vol. 49, No. 6. P. 221-231.
33. GriboVA V. V., Okun D. B. Ontologies for the formation of knowledge bases about disease treatment in medical intelligent systems // *Informatika i sistemy upravleniya* (in Russian). 2018. No. 3(57). P. 71-80.
34. GriboVA V. V. et al. Software Toolkit for Creating Intelligent Systems in Practical and Educational Medicine // *2018 3rd Russian-Pacific Conference on Computer Technology and Applications (RPC)* (in Russian). IEEE. 2018. C. 1-5.
35. *Diagnosis put artificial intelligence 2020* (in Russian), Available at: <https://rg.ru/2020/02/04/reg-dfo/uchenye-privlekut-iskusstvennyj-intellekt-dlia-diagnostiki-koronavirusa.html> (accessed August 30, 2020).
36. *Assistant in the treatment of coronavirus with artificial intelligence: know-how from Primorye* (in Russian), Available at: <https://www.vesti.ru/videos/show/vid/825790> (accessed August 23, 2020).
37. *Chinese doctors in Wuhan will use a coronavirus diagnostic program developed in Primorye* (in Russian), Available at: <http://www.interfax-russia.ru/FarEast/news.asp?sec=1671&id=1101675> (accessed August 23, 2020).