В.В. ГРИБОВА,
д.т.н., зам. директора по научной работе, ФГБУН Институт автоматики и процессов управления ДВО РАН, г. Владивосток, Россия, e-mail: gribova@iacp.dvo.ru
М.В. ПЕТРЯЕВА,
к.м.н., научный сотрудник лаборатории интеллектуальных систем, ФГБУН Институт автоматики и процессов управления ДВО РАН, г. Владивосток, Россия, e-mail: margaret@iacp.dvo.ru
Е.А. ШАЛФЕЕВА,
к.т.н., старший научный сотрудник лаборатории интеллектуальных систем, ФГБУН Институт автоматики и процессов управления ДВО РАН, г. Владивосток, Россия, e-mail: shalf@dvo.ru

ОБЛАЧНЫЙ СЕРВИС ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В ГАСТРОЭНТЕРОЛОГИИ

УДК 004.891:61

Грибова В.В., Петряева М.В., Шалфеева Е.А. ***Облачный сервис поддержки принятия диагностических решений в гастроэнтерологии*** *(Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт автоматики и процессов управления Дальневосточного отделения Российской академии наук (ИАПУ ДВО РАН), г. Владивосток, Россия)*

Аннотация. В работе представлен сервис поддержки принятия диагностических решений в гастроэнтерологии на медицинском портале облачной платформы IACPaaS. Описаны общие принципы разработки и концептуальная архитектура интеллектуального сервиса, сформированные информационные и программные компоненты. Представлены возможности проведения диагностики и дифференциальной диагностики заболеваний на медицинском портале.

Ключевые слова: *медицинский облачный сервис, гастроэнтерология, база знаний, диагностика заболеваний, решатель задач диагностики, онтологический подход.*

UDC 004.891:61

Gribova V.V., Petryaeva M.V., Shalfeeva E.A. ***Cloud decision support service for diagnosis in gastroenterology*** *(Federal State Budgetary Institution Institute of Automation and Control Processes, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russia)*

Abstract. The decision support service for diagnosis in gastroenterology was developed on a medical portal of the IACPaaS cloud platform. The general principles of development and the concept architecture of intelligent service, developed information and software components are described. The possibilities of diagnosis and differential diagnosis of diseases on the medical portal are presented.

Keywords: *medical cloud service, gastroenterology, knowledge base, diagnosis of diseases, ontological approach.*

ВВЕДЕНИЕ

Массовое внедрение новых технологий в медицине демонстрирует принципиально новые успешные результаты в диагностике и лечении целого ряда различных заболеваний, в том числе социально значимых. Однако, несмотря на достигнутые успехи, остается много нерешенных проблем, одна из которых связана с первичным звеном российской медицины, в котором, по заявлению Президента России В.В. Путина, сохраняется кризисная ситуация, требующая незамедлительной ее модернизации [1]. Среди комплекса организационно-технических мер, направленных на решение имеющихся проблем, наличие в первичном звене медицины доступных для практического использования систем поддержки принятия врачебных решений может и должно поднять на более высокий уровень качество диагностики и лечения пациентов. Особенно актуальными такие системы являются на отдаленных территориях, кораблях, нефтяных и буровых платформах, где нехватка узких спе-

© В.В. Грибова, М.В. Петряева, Е.А. Шалфеева, 2019 г.

циалистов, доступных методов инструментальной и лабораторной диагностики значительно затрудняет правильную и своевременную диагностику заболеваний.

Несмотря на то, что проблема создания таких систем не нова, и к настоящему времени создано большое количество различных систем для диагностики заболеваний пищеварительной системы [2–6], до настоящего времени они не получили достаточного распространения. Анализируя причины их узкого использования, можно выделить следующие: упрощенные моделей знаний, которые лежат в основе таких систем, не позволяют провести диагностику сложных случаев, в которых, с одной стороны, необходимо оценить процесс развития заболевания во времени, а с другой, для описания имеющихся у пациента признаков использовать неточные и нечеткие шкалы, выраженность признака (симптома), его модальность и манифестацию; недоступность систем широкому кругу специалистов (многие из них реализованы как локальные десктопные приложения) и, как следствие, отсутствие систематического и систематизированного обновления знаний системы; недостаточно полное и детальное обоснование принятых решений (объяснение); отсутствие средств дифференциальной диагностики с выдачей рекомендаций по дополнительному обследованию; диагностика на основе альтернативных симптомокомплексов (это особенно актуально для медицинских учреждений с различной оснащенностью инструментальными и лабораторными методами исследования).

Заболевания желудочно-кишечного тракта встречаются у всех групп населения и являются одними из наиболее распространенных в сравнении с патологиями других органов. Статистические данные свидетельствуют о том, что около 95% населения в той или иной степени нуждается в регулярных консультациях гастроэнтеролога [7].

Целью данной работы является описание сервиса поддержки принятия решений в гастроэнтерологии, основная задача которого – поиск гипотез о предварительном диагнозе пациента, проверка выставленного врачом диагноза, дифференциальная диагностика заболевания внутри одной нозологии.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

На облачной платформе IACPaaS, где предложена инфраструктура и технология разработки облачных интеллектуальных сервисов [8], развернут медицинский портал. Каждый облачный сервис для поддержки принятия решений (СППР) конструируется из информационных и программных ресурсов платформы IACPaaS. Информационные компоненты включают онтологии, базы данных (БД) и базы знаний (БЗ).

При разработке систем и сервисов, основанных на знаниях, специальное требование предъявляется к представлению информации – все должно быть в форме, понятной пользователям без посредников: данные, знания, результат решения задач и ожидаемое объяснение результата. Знания и другая информация должны формироваться в единых понятиях предметной области (ПрОбл) в соответствии со структурой, определяемой онтологией ПрОбл. Онтологии необходимы для того, чтобы пользователи системы – эксперты и специалисты предметной области, инженеры и администраторы – могли формировать и модифицировать в привычных и единых терминах соответствующие базы знаний и данных. Все информационные компоненты представляются в унифицированном формате – в виде семантических сетей, что обеспечивает единые принципы для их создания, доступа и изменения.

Технология создания сервисов поддержки решений в широком смысле включает системный анализ ПрОбл (где выявляются все задачи, нуждающиеся в информационной поддержке на основе знаний) и системное проектирование (где интеллектуальные задачи и их подзадачи распределяются по компонентам известных типов). Включение в архитектуру СППР декларативных БЗ – ключевой принцип проектирования жизнеспособных сервисов поддержки решений.

Ядро архитектуры системы, решающей задачу на основе БЗ, можно представить как $БЗ_i$ + $Реш_i$ + {$ПИФ_m$} + {$БД_p$} + ИФ-$Реш_i$-$БЗ_i$ + {ИФ-$Реш_i$- $ПИФ_m$, ИФ-$Реш_i$-$БД_p$} (обозначения здесь: БЗ – базы знаний, Реш – решатель, ПИФ – пользовательский интерфейс, ИФ-$Реш_i$-$Кпт_w$ – внутренний интерфейс, специфицирующий связь между решателем и другим компонентом. Проектируемая система часто интегрируется с другими программными компонентами (к архитектуре добавятся {$ПрогрСредство_k$} и {ИФ-$БД_p$-$ПрогрСредство_k$ | ИФ-$Реш_i$-$ПрогрСредство_k$}).

Онтолого-ориентированный подход – основа для формирования понимаемых знаний и эволюционируемых (жизнеспособных) систем, работающих с ними. Онтология для решения интеллектуальной задачи включает онтологию знаний о связях терминов, существенных для этой задачи, онтологию действительности (входных данных\фактов и ожидаемых

результатов); ограничения интерпретации для них и онтологические соглашения о правилах сопоставления фактов знаниям. Подход подразумевает проектирование архитектуры решателей задач в соответствии с онтологией: сведения о структурных и причинно-следственных связях терминов, ограничения интерпретации и онтологические соглашения должны быть известны разработчикам алгоритмов решения задач. Решатель, создаваемый по такому принципу – онтолого-ориентированный решатель. Наиболее важный результат его работы – структурированный отчет в терминах специалистов и с учетом их пожеланий или требований. Будущие пользователи участвуют в разработке его структуры, они влияют на то, как группируются результаты (в зависимости от их важности). Эта структура – часть онтологии ПрОбл, почти такая же важная, как структура хранимых инфоресурсов.

Технология разработки в узком смысле подразумевает инструментарий, позволяющий создавать и улучшать компоненты систем, основанных на знаниях:

- Редактор БЗ.
- Редактор БД.
- Редактор структуры результатов решения и объяснения.
- Библиотека программных решателей классов задач (и их компонентов).
- Средства поиска и выбора готовых компонентов и их интеграции.
- Специализированный редактор для ПИФ.

Этим требованиям удовлетворяет платформа IACPaaS.

Для построения сервиса поддержки принятия решений в гастроэнтерологии необходимы информационные ресурсы: «База терминов гастроэнтерологии», «База знаний о заболеваниях пищеварительной системы». Программными компонентами, обеспечивающими обработку знаний и данных, являются «Сервис для ввода историй болезней», «Решатель задачи диагностики».

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Формирование базы терминов

База терминов для гастроэнтерологии сформирована [9] под управлением «Онтологии базы медицинской терминологии и наблюдений» – метаинформации баз медицинских наблюдений медицинского портала IACPaaS, позволяющей определить такие информационные единицы как *группы терминов, термин, группы наблюдений, группы признаков, признак (симптом), характеристика, значение.* База медицинской терминологии для гастроэнтерологии содержит необходимый и достаточный набор признаков, данных объективного исследования, лабораторных исследований, инструментальных исследований, объединяемых соответствующими группами наблюдений. Для терминов, признаков и качественных значений признаков введено понятие *синонимы.*

Группа признаков «Жалобы» включает описание десятков признаков (симптомов) с развернутым представлением их разнообразных характеристик и значений, которые встречаются при большинстве заболеваний желудочно-кишечного тракта: боль в животе, вздутие живота, изжога, отрыжка, тошнота, рвота, похудание, расстройства стула, метеоризм и др. Пример описания симптома «Рвота» в онтологических терминах (признак, характеристика, значение) приведен на *рис. 1.*

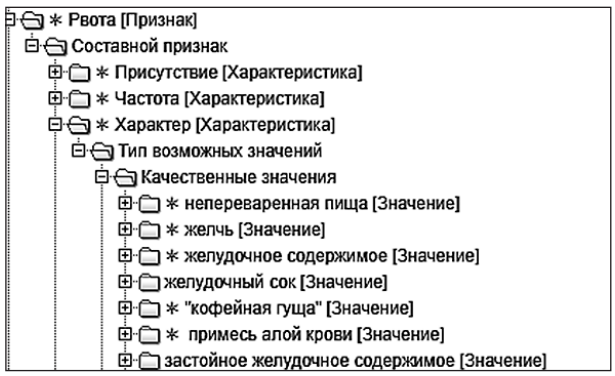

Рис. 1. **Скриншот фрагмента базы терминов гастроэнтерологии.**

Группа признаков «Объективное исследование пищеварительной системы включает описание групп признаков: «Осмотр полости рта», «Осмотр живота», «Перкуссия передней стенки живота», «Поверхностная пальпация живота», «Глубокая пальпация живота», «Пальпация печени», «Пальпация селезенки», «Пальцевое исследование прямой кишки» и др., которые в свою очередь включают описание отдельных признаков. Описаны основные авторские симптомы (Мюсси-Георгиевского, Курвуазье, Ортнера, Мерфи, Образцова и т.д.) и синдромы (Карвега, Бергмана, Савицкого и др.), которые чаще всего встречаются при заболеваниях пищеварительной системы.

Группа признаков «Данные лабораторных исследований» включает различные общеклинические, биохимические, бактериологические серологические,

иммунологические исследования, исследования свертывающей системы крови и данные молекулярно-генетической диагностики, важные при заболеваниях пищевода, желудка, тонкого и толстого кишечника. Многие из них описаны с использованием референсных значений, что повышает информационную значимость соответствующих клинических проявлений при формировании диагностических баз знаний.

Группа признаков «Данные инструментальных исследований» включает описание методов: рентгенологическая диагностика органов брюшной полости (пищевода, желудка, кишечника), ультразвуковая диагностика (УЗИ печени, поджелудочной железы, селезенки, желчного пузыря и др.), эндоскопическое исследование, компьютерная томография, магнитно-резонансная томография, функциональная диагностика, флюоресцентная диагностика и радиоизотопное сканирование. Формально описаны инструментальные методы исследования больного, наиболее часто встречающиеся в медицинской практике.

ФОРМИРОВАНИЕ БАЗЫ ЗНАНИЙ ЗАБОЛЕВАНИЙ

База знаний о заболеваниях пищеварительной системы формировалась в соответствии с «Онтологией знаний о диагностике заболеваний» [10], определяющей используемые в медицинской диагностике причинно-следственные связи заболеваний с динамикой внешних проявлений. Каждая болезнь развивается в течение большего или меньшего времени. В развитии болезни почти всегда можно различить следующие стадии: латентный период, стадия собственно болезни, исход болезни. Диагностика, как правило, проводится на стадии «собственно болезни». Для единообразной формализации стадий хронических болезней и периодов развития острых заболеваний введен термин период динамики (с нижней и верхней границами длительности). Используемая онтология даёт возможность медицинским экспертам формализовать знания со всеми вариантами значений симптомов во все периоды течения заболевания как информационный ресурс IACPaaS – БЗ заболеваний. Симптомокомплекс заболевания состоит из комплекса жалоб и объективных исследований, комплекса лабораторных и инструментальных исследований и необходимого(–ых) условия(–й). Эти комплексы – множества признаков, изменения значений которых являются симптомами заболевания. *Возможные причины* заболевания представлены событиями или этиологическими факторами, которые привели или способствовали развитию заболевания. Они описываются временны*ми* характеристиками, которые в свою очередь включают интервал до начала заболевания и продолжительность события. *Необходимое условие* для заболевания обозначает факт, без которого заболевание не случилось бы.

Количество симптомокомплексов определяется необходимостью учёта преморбидных биологических, личностных и иных факторов. Каждый объединяет диагностически ценные *признаки* в «рамках» определённого условия – возраста, региона проживания, особенностей профессии или вида спорта и др. На основе проведенного (системного) анализа особенностей течения заболеваний пищеварительной системы у разных категорий пациентов, для каждого заболевания были сформированы симптомокомплексы для следующих категорий пациентов: взрослые (17–60 лет), пожилые и долгожители (61–100 лет), дети (1–7 лет), дети (8–16 лет), беременные (I триместр), беременные (II–III триместр). Фрагмент базы знаний представлен на *рис. 2.* Для более

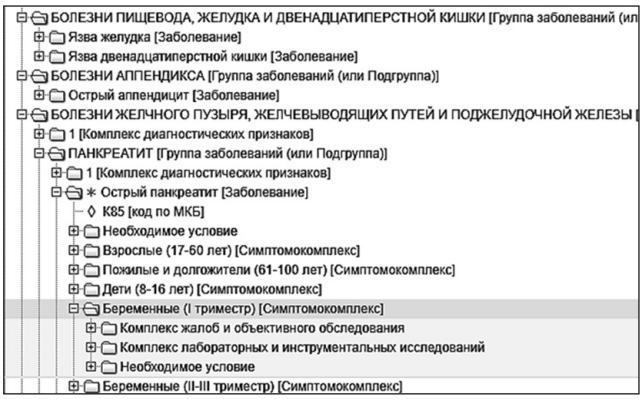

Рис. 2. **Скриншот фрагмента базы знаний (симптомокомплексы для разных категорий пациентов).**

глубокой диагностики и дифференциальной диагностики заболевания описываются по форме (острый калькулезный холецистит, острый некалькулезный холецистит) или по варианту (катаральный, флегмонозный, гангренозный), также с формированием симптомокомплекса для каждой формы и варианта заболевания по возрастным или другим группам.

Каждый признак заболевания описан в зависимости от *периода динамики заболевания* с возможными *вариантами значения характеристик* и *модальностью*. Каждый период динамики характеризуется *верхней* и *нижней границей длительности периода*, *единицей измерения границ*. Использование понятия *модальность* связана с ранжированием симптомов заболевания по их специфичности. Для высокоспецифичного симптома (признака) используется модальность «необходимость», для специфичного симптома – «характерность», если симптом малоспецифичный, используется модальность «возможность». Фрагмент базы знаний представлен на *рис. 3.*

База знаний сформирована медицинскими экспертами на основе литературных данных и врачебного опыта. По мере расширения методов диагностики она будет усовершенствоваться. Такая возможность (дальнейшего ее дополнения и расширения) обусловлена онтологическим подходом: базы знаний разрабатываются под управлением модели онтологии знаний, позволяющей экспертам редактировать в привычных терминах и оценивать адекватность зафиксированных знаний.

РАЗРАБОТКА СЕРВИСА ПОДДЕРЖКИ РЕШЕНИЙ ПО ДИАГНОСТИКЕ

Системный анализ, предшествующий началу автоматизации, выявил потребность в задачах, нуждающихся в информационной поддержке на основе знаний: собственно диагностика, т.е. выдвижение гипотез о диагнозе, не противоречащих описанию входного объекта, запрос дополнительной информации (для подтверждения гипотез и для сокращения их числа), а также проверка предварительного диагноза от врача.

На медицинском портале платформы IACPaaS разработан программный *решатель задачи медицинской диагностики.* Онтолого-ориентированный решатель создавался на основе специфицированных структурных и причинно-следственных связей всех концептов, ограничений их интерпретации и онтологических соглашений [11].

Формат структурированного отчета о результатах диагностики согласован со специалистами, группирует результаты в зависимости от их важности. Он предоставляет указание на анализируемую историю болезни (ИБ), подтвержденные для нее гипотезы (одну гипотезу либо более одной для сочетанной патологии), опровергнутые гипотезы и рассматриваемые для дальнейшего анализа.

Используемая сервисом БЗ создавалась разными методами: большинство описаний заболеваний – вручную экспертами, использующими редактор знаний IACPaaS, описание острого аппендицита – с применением индуктивных методов. Актуальность БЗ обеспечивается возможностью ее адаптации с помощью инструментов развития баз знаний – средства проверки БЗ и оценивания ее качества на множестве эталонных задач (которое пополняется завершенными историями болезни из реальной практики).

С помощью *средства интеграции БЗ и решателей* сконструирован сервис, который готов для практического использования *(рис. 4).* Пользователь вводит конкретную ИБ пациента (используя

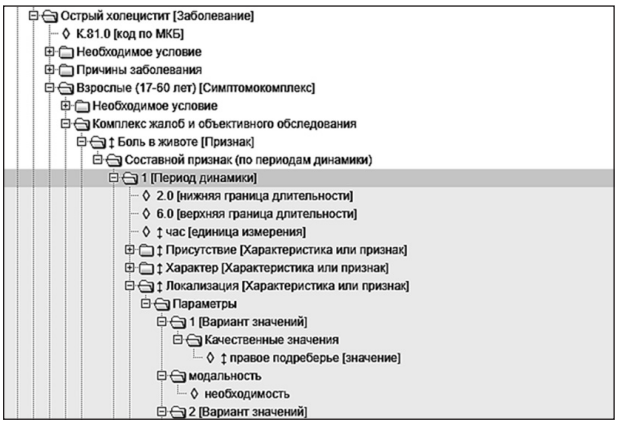

Рис. 3. **Скриншот фрагмента базы знаний заболевания острый холецистит.**

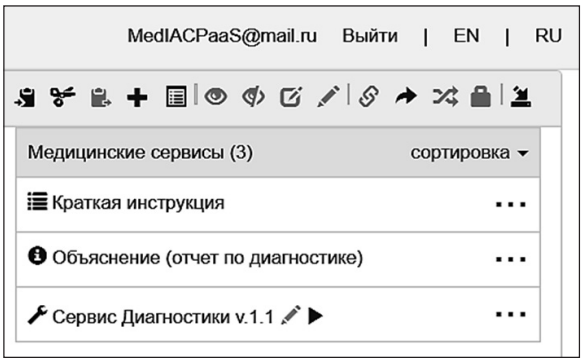

Рис. 4. **Меню для работы с сервисом диагностики в общем доступе пользователей.**

предлагаемое средство для ввода ИБ с возможностью выбора видов наблюдений и их значений) или выбирает из архива (по ее шифру) и сразу получает результат: список отвергнутых гипотез о заболеваниях, список гипотез, для подтверждения которых потребуются дополнительные сведения о пациенте, и, возможно, так называемая подтвержденная гипотеза, т. е заболевание, клинической картине которого полностью соответствует ИБ.

Стандартный пользовательский интерфейс для работы с отчетом (объяснением) таков, что каждый раздел можно видеть в концентрированном содержании и с разной степенью детализации *(рис. 5);* саму анализируемую ИБ в отчете также можно просмотреть.

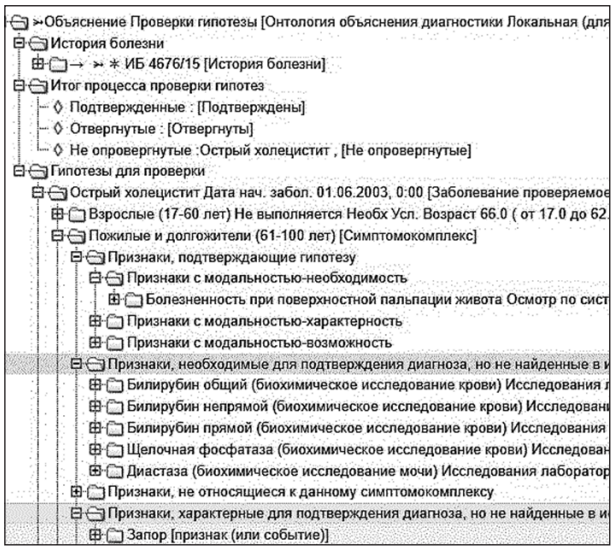

Рис. 5. **Скриншот фрагмента отчета о диагностике для указанной истории болезни пациента.**

Для проведения дифференциальной диагностики пользователь в ИБ пациента указывает предполагаемое уточнение нозологии и сразу получает результат проверки: подтверждение такого дифференциального диагноза или критику его с конструктивным объяснением недостаточности обследования или обнаруженного несоответствия, либо объяснение подтверждения диагноза *(рис. 6).*

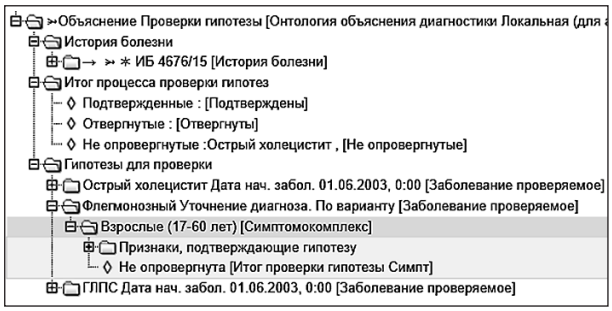

Рис. 6. **Скриншот фрагмента отчета о дифференциальной диагностике по истории болезни.**

ВЫВОДЫ

В работе описаны общие принципы разработки и концептуальная архитектура интеллектуального сервиса поддержки принятия диагностических решений в гастроэнтерологии, сформированные информационные и программные компоненты. Представлены возможности проведения диагностики и дифференциальной диагностики заболеваний пищеварительной системы. Особенностями сервиса, принципиально отличающими его от других медицинских сервисов, являются:

– Сервис реализован как система с базой знаний, которая имеет декларативное представление (семантическая сеть), отделена от программного кода сервиса, формируется по онтологии диагностики заболеваний, что соответствует современному подходу к разработке интеллектуальных систем.

– Использование онтологического подхода и структурного редактора, управляемого онтологией (с несколькими типами пользовательских интерфейсов), позволяет включить экспертов (чаще нескольких) предметной области в процесс разработки на правах полноценных разработчиков.

– Сервис является облачным, что, при наличии Интернета, делает его доступным всему заинтересованному сообществу; редактор для разработки и модификации базы знаний также является облачным, это, наряду с комплексом средств проверки

базы знаний и ее оценивания на эталонных задачах, обеспечивает жизнеспособность системы за счет возможности постоянного совершенствования знаний экспертами предметной области.

Диагностика заболеваний пищеварительной системы может осуществляться в различных режимах: поиск гипотезы о возможном заболевании (заболеваниях) с выдачей рекомендаций по дополнительному обследованию, критика гипотезы (анализ конкретного заболевания из множества поддерживаемых системой); в каждом случае пользователю выдается подробное обоснование опровергнутых гипотез, возможных гипотез о заболевании, а также описания соответствия жалоб пользователя, результатов объективного, лабораторного и инструментального исследования клинической картины заболевания:

– Сервис осуществляет дифференциальную диагностику заболеваний с учетом периода развития заболеваний, возраста, а также его детализацией по форме, варианту течения, степени тяжести, стадии, наличию осложнений; при описании симптомокомплексов используются качественные нечеткие шкалы и модальность проявления признаков (необходимость, характерность, возможность).

В настоящее время сервис реализован и готов для практического использования.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ, проекты 18-29-03131 и 19-29-01077.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Гусев А. В., Плисс М.А., Левин М.Б., Новицкий Р.Э.* Тренды и прогнозы развития медицинских информационных систем в России // Врач и информационные технологии. – 2019. – № 2. – С. 38–49.
2. *Литвин А.А.* Системы поддержки принятия решений в диагностике и лечении острого панкреатита / А.А. Литвин, О.Ю. Реброва // Проблемы здоровья и экологии. – 2016. – Вып. 2, № 48. – С. 10–17.
3. *Литвин А.А.* Система поддержки принятия решений в прогнозировании и диагностике инфицированного панкреонекроза / А.А. Литвин, О.Г. Жариков, В.А. Ковалев // Врач и информационные технологии. – 2012. – № 2. – С. 54–62.
4. *Жариков А.Н.* Компьютерная экспертная система определения прогноза течения послеоперационного перитонита и выбора метода хирургического лечения / А.Н. Жариков, В.Г. Лубянский, И.В. Кобзев // Сибирское медицинское обозрение. – 2014. – № 3. – С. 48–54.
5. *Бунцева О.А., Галкова З.В., Плахов Р.В., Эрендженова К.Ю. и др.* Современная эндоскопическая диагностика предраковых изменений и раннего рака желудка и толстой кишки с применением компьютерных систем поддержки принятия решений // Экспериментальная и клиническая гастроэнтерология. – 2014. – № 110 (10). – С. 88–96.
6. *Кореневский Н.А.* Прогнозирование, ранняя диагностика и оценка степени тяжести острого холецистита на основе нечеткой логики принятия решений / Н.А. Кореневский, М.Т. Шехтине, Д.А. Пехов, О.Н. Тарасов // Вестник Воронежского Государственного технического университета. – 2009. – Т. 5, № 11. – С. 150–152.
7. Проблемы и задачи современной гастроэнтерологии [Электронный ресурс] https://cyberleninka.ru/article/n/problemy-i-zadachi-sovremennoy-otechestvennoy-gastroenterologii [Дата обращения: 09.2019].
8. Базовая технология разработки интеллектуальных сервисов на облачной платформе IACPaaS. Часть 1. Разработка базы знаний и решателя задач / Грибова В.В., Клещев А.С., Крылов Д.А. и др. // Программная инженерия. – 2015. – № 12. – С. 3–11.
9. *Москаленко Ф.М., Окунь Д.Б., Петряева М.В.* База терминов для интеллектуальных медицинских сервисов // Материалы X международной научной конференции «Системный анализ в медицине» (САМ 2016) под общ. ред. В.П. Колосова. 22–23 сентября 2016 г. – Благовещенск: ДНЦ ФПД, 2016. – С. 155–158.
10. *Грибова В.В., Петряева М.В., Окунь Д.Б., Шалфеева Е.А.* Онтология медицинской диагностики для интеллектуальных систем поддержки принятия решений // Онтология проектирования. – 2018. – Т. 8, № 1(27). – С. 58–73.
11. *Петряева М.В., Лифшиц А.Я., Шалфеева Е.А.* Медицинские ресурсы IACPAAS для дифференциальной диагностики заболеваний желчного пузыря // Информатика и системы управления, Изд-во АмГУ. – 2018. – № 3(57). – С. 81–92.