



В. Л. Малых

Системы поддержки принятия решений в медицине

Аннотация. Современная медицина осваивает системы поддержки принятия решений (СППР). Анализируя российские и зарубежные источники, работа выявляет основные барьеры на пути создания СППР для медицины. Приводятся возможные подходы к преодолению концептуальных барьеров, предлагается возможное комплексное решение проблемы. Рассматривается гибридная модель СППР широкого класса для медицины. Результаты могут быть использованы разработчиками ИТ для построения СППР на основе научной и эмпирической компонент медицинских знаний.

Ключевые слова и фразы: медицинская информатика, медицинские информационные системы, принятие решений, прецеденты, обработка сложных событий, сеть обработки событий, мульти-агентные системы, онтологии.

Введение

Проблема СППР в медицине имеет уже довольно большой возраст. В вышедшем в 1990 году обзоре [?1], выполненном по материалам 5-го всемирного конгресса по медицинской информатике, проблема медицинских СППР широко обсуждалась. Спустя почти 30 лет продолжают выходить актуальные обзоры по данной тематике [?2, ?6], которые показывают, что несмотря на большой технологический прогресс вычислительной техники, методов машинного обучения и искусственного интеллекта, широкое практическое применение СППР в медицине все еще не достигнуто. При этом актуальность проблемы никуда не исчезает.

Достаточно сказать, что только в 2018 году в ВШЭ прошли три заседания рабочих групп (80, 81, 82) посвященные тематике «Искусственный интеллект и системы принятия решений в медицине».

Работа выполнена при поддержке Фонда содействия инновациям Проект № 42691 и в рамках программы фундаментальных исследований ОНИТ РАН Проект № 0077-2019-0014.

© В. Л. Малых, 2019

© Институт программных систем имени А. К. Айламазяна РАН, 2019

© Программные системы: теория и приложения (дизайн), 2019

 10.25209/2079-3316-2019-10-2-155-184



Еще одно заседание на ту же тематику прошло на 83 рабочей группе в НИИЦ нейрохирургии им Бурденко. Эти же проблемы обсуждались в 2019 году в Москве в Национальной Медицинской Палате на симпозиуме «Цифровая медицина: от электронного здравоохранения к искусственному интеллекту». Различные зарубежные аналитические и футурологические источники (Gartner, Medical Futurist, BrightTalk и др.) постоянно выпускают материалы, подчеркивающие значимость технологий ИИ и перспективность создания на этих технологиях современных СППР в медицине [?6, ?7]. Отечественные источники также подчеркивают актуальность и значимость проблемы.

Например, процитируем критические высказывания врача по поводу информатизации отечественной медицины [?8]. «Глобальная проблема — дефицит ресурсов. Причем речь не о дефиците денег, а о дефиците времени. Время профессионалов — основной мировой дефицит... ИТ дают широкие возможности экономии. Огромный потенциал имеет, например, телемедицина... Колоссальную ценность имеет поддержка принятия врачебных решений, но ею не занимаются».

И дело не только в отставании России в информационных или медицинских технологиях, которое объективно наблюдается, но проблема заключается в объективном существовании концептуальных барьеров, которые требуется преодолеть.

1. Нерешенные проблемы создания СППР для медицины

При попытке создания СППР для медицины мы сталкиваемся с целым рядом принципиальных концептуальных барьеров.

Первый концептуальный барьер связан с колоссальным объемом накопленных медицинских знаний.

Второй концептуальный барьер связан с постоянным обновлением медицинских знаний и технологий.

Очевидно, что СППР должна основываться на актуальных медицинских знаниях. Для этого необходимо преодолеть первые два барьера.

Для применения в СППР медицинские знания должны быть формализованы. В обзоре [?1] предлагалось разделять медицинские знания на научные и эмпирические, или явные и неявные в нашей терминологии. Отмечалось, что модели, основанные на медицинских научных знаниях, имеют обобщенный и ограниченный характер, а эмпирические знания могут быть недостаточно репрезентативны и неадекватны популяции в целом.

Третий концептуальный барьер связан с самими клиническими данными, наличием подготовленных источников данных, наличием больших клинических данных (data set, Big Data). По утверждению Microsoft от 30% до 40% мировых цифровых данных в настоящее время составляют медицинские данные. Ожидается дальнейший рост этих данных, вызванный падением цен на секвенирование генома человека, частичное секвенирование уже стоит порядка \$100. Будет бурно развиваться геномика и интернет вещей (IoT), которые будут порождать огромные массивы данных. Прежде, чем их можно будет использовать и применять к ним методы машинного обучения, они должны быть накоплены, верифицированы экспертами предметной области (врачами), нормализованы и, при необходимости, генерализованы. Проблемы формирования верифицированных массивов больших медицинских данных нашли отражение в работах [79, 710, 711, 714]. Процитируем работу [711].

Барьером на пути широкого практического применения современных методов анализа больших данных в российской медицине является отсутствие доступных для исследователей банков больших обезличенных клинических данных. Так как большинство медицинских записей в медицинских организациях России до настоящего времени ведутся на бумаге. В то же время можно привести примеры таких банков данных за рубежом. Например, в Великобритании по инициативе и с участием 674 врачей общей практики создана база клинических данных, которая покрывает свыше 11,3 млн. пациентов Великобритании. В России подобные прецеденты нам не известны.

Систематический (140 статей + 28 веб-сайтов) актуальный обзор литературы [710] приводит данные о западных проектах по формированию банков клинических данных. В этом направлении лидируют англоязычные страны: Великобритания, США, Канада, Австралия. Число пациентов, данные которых накоплены в БКД, начинается от десятков и сотен тысяч и заканчивается десятками миллионов (18 млн. в проекте Qresearch). Проект CPRD в Великобритании покрывает 20% популяции этой страны (13 млн. человек). Основными «держателями» БКД на Западе являются:

- государственные институты (Veterans Health Administration in the USA, National Health Service in the UK)
- академические институты (Nottingham University, Leuven University, Dutch College of General Practitioners)

- частные компании, специализирующиеся на разработке программного обеспечения, работающие в области извлечения данных и их анализа (IMS Health).

Ситуация в России начинает меняться. Согласно источнику [73] в России создается «Национальная база медицинских знаний», в которую предстоит отбирать очищенные массивы медицинских данных. Заявка на регистрацию НКО «Ассоциация «Национальная база медицинских знаний» подана в Минюст.

В Госдуму внесен законопроект о регулировании больших пользовательских данных. Он предлагает разрешить компаниям обрабатывать и передавать такие данные третьим лицам с согласия самих пользователей. В октябре 2018 года «МегаФон», Mail.ru Group, oneFactor, «Яндекс» и Тинькофф-банк учредили в России Ассоциацию участников рынка больших данных.

Возникают компании, которые ставят своей целью разработку платформ для интеграции БКД.

Примером такой компании является SkyChain. Предлагается программная платформа для размещения, обучения и применения систем ИИ в медицине. На платформу приглашаются - владельцы медицинских данных, разработчики СППР, которые могут создавать и обучать свои системы на основе данных платформы, пользователи (пациенты и врачи), которые должны обеспечить доходность бизнеса.

Данные на платформе защищаются с помощью технологии блокчейна (blockchain). Эта же технология используется для реализации внутренней экономики платформы. Доходы от деятельности будут распределяться между владельцами данных, владельцами обученных систем ИИ, владельцами платформы, инвесторами. Технология позволит всем заинтересованным участникам контролировать финансовые транзакции и быть уверенными в соблюдении договоренностей о распределении доходов.

По оценкам компании рынок ИИ в здравоохранении через несколько лет достигнет уровня 200 миллиардов долларов. Цель компании крайне амбициозная - контролировать 70% этого рынка. Проект выполняется силами российских разработчиков, но нацелен на Запад. Какова цена подобных сервисов для конечных потребителей на Западе? По их данным, одно обращение за консультацией по онкологии к доктору Ватсону стоит от \$200 до \$1000.

В чем компания видит преимущества систем ИИ, размещаемых на платформе, перед врачами? Во-первых, в точности диагностики.

Уже сейчас нейронные сети (НС) диагностируют некоторые классы заболеваний по визуальным диагностическим данным точнее врачей. Например, меланому. Во-вторых, скорость работы НС на 2-4 порядка выше, чем у человека. Это позволяет платформе проводить скрининг больших масс населения. Представитель компании продемонстрировал в ВШЭ систему, показал работу платформы прямо через веб-браузер. На платформу загружался диагностический снимок и практически тут же платформа выдавала диагностическое заключение.

Возможные источники данных для платформы. По оценкам SkyChain, фирма IBM потратила 2 миллиарда долларов на приобретение данных и создание БКД для доктора Ватсона. Есть БКД в 450000 диагностических снимков в Стэндфордском университете, в Англии есть БКД из 150000 снимков глазного дна, и т.д. Размеченные БКД с диагностическими снимками можно найти. С медкартами дело обстоит хуже. У IBM есть разнородные данные с медкартами, но они их до сих пор не смогли их объединить. Платформа привлекает владельцев данных, предлагая им начать получать доход от своих данных.

Четвертый концептуальный барьер связан с недостаточной формализацией и стандартизацией данных. На Западе этим вопросам уже длительное время уделяется достаточное внимание. Созданы тезаурусы и онтологии (LOINC, SNOMED и др.), позволяющие размечать и кодировать медицинские данные, предлагаются стандарты для формализации медицинских документов (HL7 CDA, OpenEHR). В России с этими вопросами все обстоит значительно хуже. Каждая МИС имеет собственную организацию данных, интероперабельность между различными МИС не достигнута. Практически невозможно передать формализованную электронную медицинскую карту из одной системы в другую.

Зачастую ИИ приходится иметь дело не с формализованными и размеченными данными, а со свободными медицинскими текстами. Несмотря на наличие в арсеналах ИИ методов работы с естественным и ограниченным профессиональным языком (natural language processing, control language processing), анализ текстов и выделение из них фактов (событий) все еще является достаточно трудоемким и проблемным процессом. Интересный и поучительный пример работы с медицинскими текстами приведен в [713]. Приведем несколько цитат. «Данные медицинской информационной системы Клиники были размещены в оракловой базе с запутанной структурой. Описания схем найти не удалось, поэтому пришлось восстанавливать структуру данных и связи

сущностей, сопоставляя сведения из БД с информацией из графического интерфейса МИС... Внутри XML-документов (осмотры, дневники, эпикризы и др. документы) был бардак. Например, в узле «Общее состояние» могла находиться информация о жалобах пациента, а сам узел «Жалобы» оставался пустым. Часто врачи записывали все данные о пациенте (жалобы, результаты осмотра, рекомендации к дальнейшему лечению и назначения лекарств и др.) в одно поле, например, в «Комментарий».

К все еще не решенным проблемам формализации данных необходимо отнести необходимость в построении стандартизированной процессной модели лечебно-диагностического процесса, пригодной для применения методов машинного обучения ИИ. Эти проблемы были затронуты в публикациях [?11, ?14, ?15, ?16]. Можно предложить два подхода к решению данной проблемы — это либо моделирование ЛДП на основе введения понятия состояния пациента, либо моделирование ЛДП как потока событий без опоры на понятие состояния.

Отдельно отметим необходимость выделения (использования trigger tool по англоязычной терминологии) и онтологизации значимых событий ЛДП, см. работу [?17].

Пятый концептуальный барьер является когнитивным. Он связан с недостаточным обоснованием и пониманием метода получения рекомендуемого машиной решения. В работе [?18] приводится диаграмма, демонстрирующая рост сложности моделей применяемых для машинного принятия решений. Сложность нарастает от линейных моделей, моделей основанных на правилах, регрессионных моделей до моделей основанных на глубоком обучении нейронных сетей и композиций различных моделей (from white box to black box по терминологии авторов). Фактически все когнитивное обоснование решений «black box», основанных на глубоком машинном обучении (или на прецедентах), сводится к апелляции к хорошо отобранным и качественным данным (прецедентам), использованным для обучения.

2. Возможные подходы к решению проблем построения СППР в медицине

Попытки преодоления принципиальных барьеров в создании систем поддержки принятия врачебных решений привели к развитию ряда подходов.

Перейдем к описанию различных подходов к построению СППР в медицине. Будем цитировать наши публикации [?15, ?19, ?20] в переводе на русский язык.

Первый из этих подходов заключается в предоставлении врачу релевантных информационных источников, помогающих ему самостоятельно принять решение. Система, собственно, ничего врачу не рекомендует в виде готового решения, а предлагает вместо этого ознакомиться с информационными источниками и получить в них ответы на свои вопросы. В качестве примера подобного подхода приведем систему UpToDate. Первый подход основывается на явных знаниях.

Второй подход заключается в использовании клинических путей (clinical pathways), в русской терминологии часто называемых технологическими картами. Клинические пути представляют собой прескриптивные модели стандартных процедур здравоохранения, которые должны быть предприняты для конкретной популяции пациентов. Примеры клинических путей (также известных как случаи — cases) описывают фактический диагностическо-терапевтический цикл индивидуального пациента [?22]. Но даже в случае использования клинических путей процесс принятия клинических решений имеет высокую сложность. Так как актуальные медицинские знания, используемые в процессе принятия решений, могут быть частично получены из опубликованных исследований и широко распространенных медицинских руководств (с различными уровнями доказательности), общепризнанно, что процесс принятия решений находится под сильным влиянием опыта и знаний вовлеченных в принятие решений медиков-экспертов [?22]. Клинические пути широко применяются на Западе и, пока, не нашли широкого применения в России. Роль клинических путей в России в настоящее время играют стандарты и рекомендации Минздрава, следование которым предполагается сделать обязательным. Вторым подход основывается на явных знаниях.

Третий подход заключается в разработке большого числа частных узкопрофильных СППР. Примерами такого подхода являются СППР [?6, ?23, ?24, ?25]. SkyChain уже сейчас предлагает 5 обученных нейросетей для анализа диагностических изображений и продолжает обучать новые нейросети. Цель обучения НС - диагностика рака легких, печени, молочных желез, меланомы. Количество частных постановок задач и их решений настолько велико, что практически не позволяет их каталогизировать и иметь общий источник информации о них. Частные решения надо отыскивать в различных информационных и поисковых системах (PubMed, Scopus, WoS, Google Scholar). Третий подход основывается на явных знаниях и размеченных массивах данных.

Четвертый подход, претендующий на глобальность, заключается в построении когнитивной системы, способной к самообучению и усвоению знаний непосредственно из текстовых неформализованных источников. В качестве примера подобной системы приведем систему IBM Watson. Доклады XVII Международной конференции Data Analytics and Management in Data Intensive Domains, DAMDID/RCDL'2015 [?27, ?28], посвященные этой системе, показали довольно скромные результаты когнитивного подхода в проблеме построения СППР в медицине. Для поддержки решений в частной сфере нескольких онкологических нозологий потребовалось длительное обучение системы коллективом экспертов. Надежды на то, что система способна сама «усвоить» медицинские знания и затем позволит их эффективно практически применять, не оправдываются. О недостаточной эффективности системы свидетельствует недавняя критическая публикация в Wall Street Journal (12 august 2018) - "But after pouring billions into the project, the diagnosis is gloomy-[?29]. Критические замечания по когнитивной системе систему IBM Watson высказываются также в [?30], где отмечается, что система все еще не удовлетворяет требованиям пользователей и не оправдывает возлагаемых на нее надежд. Система имеет проблемы с интеграцией данных, с недостаточным покрытием предметной области, со стоимостью решений, предлагаемых пользователям.

Четвертый подход основан на явных знаниях.

Все выше рассмотренные подходы не лишены недостатков, требуют привлечения экспертов, требуют регулярного обновления своих баз знаний, и фактически являются частными.

Пятый подход, также претендующий на глобальность, заключается в построении СППР на основе прецедентного подхода. В основе подхода лежит ярко выраженный прецедентный характер принятия решений в медицине. Предлагается формировать банки больших клинических данных, находить в БКД случаи - прецеденты похожие на текущий, и рекомендовать лечебно-диагностические мероприятия на основе найденных прецедентов. Это направление хорошо представлено работами [?14, ?15, ?16, ?17, ?19, ?20, ?31]. Пятый подход основывается на неявных эмпирических знаниях.

3. СППР, основанная на явных знаниях

Во-первых, любая СППР основывается на знаниях, они должны быть заложены в систему. Знания могут быть явные и неявные. Явные

могут быть представлены в виде технологических карт (ТК), клинических руководств и рекомендаций (КР), специальной медицинской литературы, научных публикаций и т.п. Без экспертов в предметной области формализовывать в системе явные знания ИТ-специалистам весьма проблематично. Часто эти знания можно формализовать в виде некоторых правил вывода «если — то». Именно такую формализацию предлагают сейчас клинические рекомендации Минздрава. Объем медицинских знаний колоссален. Поэтому, поневоле надо будет ограничиваться в формализации, охватив лишь посильный объем знаний.

Явные знания могут ссылаться на свои источники, в которых приводится достаточная аргументация, могут основываться на подходах доказательной медицины. Подход на явных знаниях может быть более точным и тонким, он может оперировать большим количеством знаний (фактов, событий), чем прецедентный. В любом случае, в обоих подходах потребуется предварительная нормализация, генерализация и формализация знаний и данных. Без этого обойтись нельзя, и для этого потребуются эксперты предметной области.

Во-вторых, даже, если мы справились с проблемой закладывания фундамента знаний для СППР, то далее возникнет проблема диссонанса с пользователями (врачами). Система на явных знаниях и правилах вывода будет требовать от пользователя дополнительной информации, чтобы иметь возможность сделать свои выводы. Академик Г.И. Назаренко, выступая на конференции ОНИТ РАН (2018), заявил, что на большинство уместных вопросов врачи или не отвечают (не вносят в компьютер!), или делают это крайне неохотно под административным давлением. Одно из возможных паллиативных решений, которое с очевидностью напрашивается, это динамически запрашивать требуемые для работы СППР факты, в контексте медицинских документов (дневники, осмотры, ТК), где потребуется эти факты просто выделить, пометить их, как актуализированные.

4. Модель лечебно-диагностического процесса (ЛДП)

СППР должна контролировать ход ЛДП и выдавать уместные рекомендации. Для построения СППР рассмотрим концептуальную модель ЛДП, как процесса управляемого, ориентированного на применение СППР.

Модель управляемого ЛДП строится на следующих основаниях:

1. Технологический процесс моделируется в относительном времени вдоль стрелы времени.
2. Для формирования временной структуры процесса вводится понятие этапа (временного интервала) со следующими свойствами:
 - (1) этап имеет начало;
 - (2) этап имеет конец и, соответственно, длительность;
 - (3) начало и конец могут быть не определены с возможностью последующего доопределения;
 - (4) неопределенные начало и конец моделируются соответственно минус и плюс бесконечностью;
 - (5) этапы могут иметь цель или цели;
 - (6) при наличии целей определяются критерии достижения целей, или же достижение цели явно декларируется;
 - (7) в клинических рекомендациях Минздрава этапность лечебно-диагностического процесса явно не определена. В этом случае можно считать весь процесс одним этапом, или же выделить в качестве параллельных этапов разделы клинических рекомендаций (Лабораторная диагностика, Инструментальная диагностика и т.д.).
3. На этапах могут задаваться отношения аналогичные отношениям этапов в планировщиках работ (MS Project). Эти отношения позволяют автоматически «стартовать» некоторые этапы по различным событиям (завершение некоторых этапов, наступление определенного относительного момента времени и т.п.).
4. В каждый относительный момент времени можно указать какие этапы активны. Возможно параллельное прохождение этапов. Временное представление этапов возможно с помощью диаграммы Ганта.
5. Переменные состояния и реализованное управление описываются на языке событий — наблюдений и управлений.
6. Каждое событие типизировано и имеет следующие свойства:
 - (а) событие имеет дату и время начала (возникновения, актуализации);
 - (б) событие имеет дату и время завершения (деактуализации);
 - (в) начало и завершение могут быть не определены;
 - (г) с каждым событием в общем случае могут быть связаны типизированные характеристики события (набор пар имя — значение).
7. События могут состоять в явных отношениях с этапами. Например, событие произошло в контексте этапа. Неявная привязка события к этапу основана на непустом пересечении интервала

длительности события с интервалом длительности этапа. Если пересечение не пусто, то событие считается произошедшим в контексте данного этапа.

8. Вводится понятие состояния. Состояние — это множество событий актуальных в данном фиксированном временном интервале (временном окне).
9. Правила логического вывода. На событиях формулируются логические выражения (правила вывода). При истинности этих выражений делаются определенные выводы (рекомендации), сводящиеся к порождению новых событий, закрытию или активизации этапов. Правила вывода могут быть привязаны к этапам. В этом случае в правилах вывода будут рассматриваться только те события, которые произошли в контексте связанных с правилами этапов. Достижение целей формулируется в виде правил вывода. В логических выражениях правил могут участвовать как сами события (произошло/не произошло — true/false), так и их характеристики.
10. Правила вывода могут неявно предполагать наличие скрытых темпоральных отношений на событиях, на которых строятся правила вывода. Типичный пример такого отношения — «единовременность» наступления событий.
11. В клинических рекомендациях Минздрава выводы называются рекомендациями. Рекомендации имеют общую структуру: некоторые определенные условия, при которых рекомендация дается: по диагностике, лечению, оперативным вмешательствам, питанию, профилактике, диспансерному наблюдению - по всему классу лечебно-диагностических мероприятий. Рекомендации могут быть как положительные, так и отрицательные (чего делать не рекомендуется при определенных условиях).
12. Модель технологической карты (технологического протокола), а также модель лечебно-диагностического процесса представляются в виде совокупности этапов, событий, правил вывода (рекомендаций) и последовательности состояний (может быть опущена).
13. Возможно ведение пациента сразу по нескольким ТК, например при сочетанных заболеваниях. Обеспечивается однородностью представления ТК.
14. Возможно использование «неполных» ТК. Карт, которые будут содержать лишь частичные знания о лечении той или иной нозологии. Это позволит сосредотачиваться в ТК на «тонких»

деталей лечебного процесса по данной нозологии, опуская общеизвестные детали процесса.

15. Имеет смысл разделить рекомендации на классы не только по степени уровней доказательности, но и по степени известности (освоенности) рекомендации врачами. В этом случае можно напоминать (показывать) врачам не все рекомендации, а только определенного класса, в зависимости от уровня подготовки врача. Предлагается классифицировать рекомендации по четырем классам:
 - (1) Новые медицинские знания;
 - (2) Знания врача высокой квалификации (корифея);
 - (3) Знания начинающего врача;
 - (4) Известные (элементарные, банальные) знания.
16. Напрашивается комбинированный подход к построению СППР. Когда будет сочетаться «грубый» общий подход, основанный на неявных знаниях (прецедентах) с «тонким» подходом ТК, основанным на явных знаниях.
17. Необходим механизм, отслеживающий качество ведения ЛДП процесса по ТК. Какие рекомендации были выполнены, какие рекомендации были отвергнуты.
18. Клинические рекомендации Минздрава содержат критерии качества. Для критериев качества тоже могут быть указаны условия (правила вывода), при которых тот или иной критерий применяется.

5. Использование клинических рекомендаций в качестве явных знаний для построения СППР

Рассмотрим в качестве источников явных знаний для построения СППР клинические рекомендации Минздрава (КР, КРМ), а также зарубежные клинические рекомендации.

5.1. Выделение структуры этапов ЛДП

Анализ клинических рекомендаций Минздрава показал, что они не описывают развитие ЛДП во времени. Рекомендации не имеют процессного характера. Лечебно-диагностические рекомендации разделены по типу (лабораторная диагностика, инструментальная диагностика, иная диагностика, консервативное лечение, диспансерное наблюдение, реабилитация и т.п.). Определенная неявная этапность все-таки предполагается, но в КРМ она явно не выражена, поэтому

можно ограничиться моделью процесса с одним этапом, или же рассмотреть множество параллельных этапов, соответствующих всем использованным типам рекомендаций.

5.2. Формирование словаря событий

Прямо из текста КРМ выделяются события. Например, для КРМ КР14 (Цистит) выделяем следующие события:

- S1)* частое болезненное мочеиспускание малыми порциями мочи;
- S2)* боль в проекции мочевого пузыря;
- S3)* императивные позывы к мочеиспусканию;
- S4)* ложные позывы на мочеиспускание;
- S5)* примесь крови в моче;
- S6)* острый цистит;
- S7)* хронический рецидивирующий цистит;
- S8)* неосложненный цистит;
- S9)* осложненный цистит;
- S10)* общий анализ мочи;
- S11)* анализ мочи с использованием тест-полосок;
- S12)* бактериологическое исследование мочи;
- S13)* острый пиелонефрит;
- S14)* беременность;
- S15)* мужчина;
- S16)* ИМП (инфекция мочевых путей) и т.д.

5.3. Формирование правил вывода (рекомендаций) на основе сформированного словаря событий

Примеры:

1) (*S1 and S2 and S3*) or (*S4 or S5*) \implies *S6* (Если наблюдается частое болезненное мочеиспускание малыми порциями мочи и боль в проекции мочевого пузыря и императивные позывы к мочеиспусканию) или ложные позывы на мочеиспускание или примесь крови в моче, то острый цистит;

2) *S13 or S14 or (S15 and S16)* \implies *S12* (Если наблюдается острый пиелонефрит или беременность или, если это мужчина и имеет место инфекция мочевых путей, то бактериологическое исследование мочи), и т.д.

Предварительная оценка мощности модели. Для КРМ «Цистит» число событий (фактов) оценивается в 100-200. Число правил вывода (рекомендаций) оценивается в 50. События могут и будут повторяться в различных КРМ. Трудоемкость формализации одного документа КРМ выглядит вполне приемлемой.

К сожалению, большинство фактов (событий) придется запрашивать непосредственно у пользователя, т.к. системе эти факты будут неизвестны. Сократить число запрашиваемых фактов можно будет за счет исключения из рассмотрения отдельных этапов, например диагностики, в случае успешного завершения этого этапа и перехода к этапу консервативного лечения. Также можно уменьшить число запрашиваемых фактов, исключая из рассмотрения рекомендации с низким классом знаний (банальные знания, знания начинающего врача). Также можно предположить возможность исключения из рассмотрения рекомендаций с низким уровнем достоверности (D). Теоретически, все это может сократить число запрашиваемых фактов в разы, доведя их до вполне приемлемого.

5.4. Производительность

Выше мы оценили число правил в КРМ «Цистит» всего 50. Даже, если вести параллельно 1000 пациентов, то число контролируемых правил оценим сверху в 100000, а число событий в 100000. СППР не ограничена 1 с., но имеет вполне достаточно времени для работы (часы в день). Такая нагрузка вполне посильна серверу обработки сложных событий. При необходимости можно будет использовать подходы, применяющиеся для обработки Больших данных (специальные БД, платформы, достаточные вычислительные ресурсы, масштабирование, балансировку нагрузки). На данном этапе концептуального проектирования важнее не производительность, а практическое доказательство полезности проектируемой СППР для врачей. Необходимо будет предусмотреть переход от принятой рекомендации к сформированному лечебно-диагностическому назначению в МИС, которую поддерживает СППР.

КРМ были взяты для примера. Можно рассмотреть зарубежные клинические рекомендации. Например, рассмотрим КР «Кашель», взятую с портала российского врача. Ниже приведены выдержки из данной КР, которые показывают хорошую степень формализации рекомендаций в виде продукций.

- (1) Считать кашель «острым», если взрослый пациент жалуется на кашель продолжительностью менее 3 недель (класс 2С).

- (2) Вероятность наличия туберкулеза как специфической инфекции следует оценивать у всех пациентов, которые жалуются на кашель в эндемичных по туберкулезу областях, независимо от продолжительности кашля.
- (3) «Красные флаги» (при оценке жизнеугрожающих ситуаций): курильщики в возрасте старше 45 лет с новыми симптомами (ухудшением кашля и/или изменением голоса); бывшие курильщики в возрасте 50—80 лет, кровохарканье, одышка, особенно в покое или ночью, лихорадка, потеря веса, отеки и увеличение веса, нарушение глотания при приеме пищи и воды, рвота, патология при аускультации или рентгенологическом исследовании.
- (4) Кашель считается хроническим, если взрослый пациент жалуется на кашель длительностью более 8 недель (класс 2С).

Можно сделать вывод, что современные отечественные и зарубежные КР могут быть в достаточной степени формализованы для их использования в СППР.

6. Использование неявных знаний для построения СППР.

Прецедентный подход

Прецедентный подход для построения СППР достаточно подробно освещен нами в работах [?14, ?15, ?16, ?19, ?20, ?31]. Поэтому коснемся лишь некоторых аспектов этого подхода.

Неявные знания могут быть представлены в виде прецедентов, накопленных в МИС, или собранных в банки клинических данных (БКД). И в случае прецедентного знания потребует формализация, но она может быть более простой, чем в случае явного знания, не потребует формализовывать правила вывода. Каждый подход имеет и свои преимущества, и свои недостатки. Прецедентный подход проще в формализации, он легко справится с большими данными, чем больше прецедентов, тем для него лучше. Но он не работает в случае отсутствия представительной базы прецедентов, и он обладает слабой когнитивностью. Вся его аргументация сводится к тому, что кто-то в похожем случае так-то поступал.

В работах [?16, ?19] получены оценки точности рекомендаций лечебно-диагностических мероприятий на основе прецедентного подхода. Они сведены в таблицу ??, названия исследованных нозологий показаны в таблице ?. Технические аспекты формализации клинических данных и поиска прецедентов освещены в работах. ЛДП рассматриваются в виде

процесса смены состояний, либо в виде потока событий. Прецеденты в БКД предварительно структурируются на графах тесного мира с использованием заданной метрики или расстояния близости. Метрика на потоках событий строится на основе DTW.

Таблица 1. Оценка точности рекомендаций лечебно-диагностических мероприятий для 7 нозологий

Код МКБ10	J13	K80.1	H25.1	H26.2	I67.4	I67.9	N20.1
Общее число клинических прецедентов	166	1018	1205	1255	1336	1403	1632
Из них контрольных прецедентов	11	128	121	126	134	141	164
Количество состояний	2938	12853	5509	5778	23165	24875	15922
Количество управляющих переменных	118	931	293	249	1431	1518	205
Количество правильных рекомендаций, подсчитанное для контрольных прецедентов,	2865	16078	2983	2745	28115	26202	7541
в процентах от общего числа лечебно-диагностических мероприятий	34.4%	35.8%	80.4%	57.5%	31%	33.7%	25.3%
Число рекомендаций, не совпадающих по уровню управления,	3923	18390	539	1617	37563	32447	9948
в процентах	47.2%	40.9%	14.5%	33.9%	41.4%	41.7%	33.4%
Число лечебно-диагностических мероприятий, которые СППР не смогла рекомендовать,	1530	10490	189	408	25060	19117	1229
в процентах	18.4%	23.3%	5.1%	8.6%	27.6%	24.6%	41.3%

ТАБЛИЦА 2. Коды и названия исследованных нозологий

Код МКБ10	Название нозологии
J13	Пневмония, вызванная <i>Streptococcus pneumoniae</i>
K80.1	Камни желчного пузыря с другим холециститом
H25.1	Старческая ядерная катаракта
H26.2	Осложненная катаракта
I67.4	Гипертензивная энцефалопатия
I67.9	Цереброваскулярная болезнь неуточненная
N20.1	Камни мочеточника

Из таблицы ?? видно, что число правильных рекомендаций (TP True Positive) колеблется от 58,7% до 94,9% в зависимости от нозологии. Большая часть рекомендаций совпадает с тем, что делает врач.

Эксперт Минздрава Зарубина Т.В., выступая на рабочих группах в ВШЭ, рекомендовала СППР иметь точность не ниже 85%. Можно предположить, что СППР, построенная на прецедентном подходе, будет менее точная, чем СППР, основанная на явных знаниях.

Приведенные в таблице ?? результаты говорят сами за себя. В среднем по всем рассмотренным нозологиям имеем:

- (1) в 33% случаев метод позволил сформировать совершенно точные рекомендации по лечебно-диагностическим мероприятиям;
- (2) в 40% случаев врач «следует» рекомендациям, но изменяет их интегральный уровень (дозировка и т.п.);
- (3) в 27% случаев врач назначает лечебно-диагностические мероприятия, не попавшие в рекомендации.

Следует учесть, что никакого обучения системы не проводилось и, следовательно, полученные результаты могут быть потенциально улучшены. Преимуществом прецедентного подхода является то, что он не требует выделения и постоянной формализации новых знаний. Новые знания (новые методы лечения, новые технологии лечения) «попадают» в прецеденты просто по факту их отражения в электронных медкартах при пополнении БКД.

Можно сделать достаточно общий вывод о том, что на поддержание эмпирической компоненты медицинских знаний в МИС требуются меньшие усилия, чем на формализацию и поддержание в МИС научной компоненты. Этот факт открывает перспективы для построения

систем поддержки принятия врачебных решений на основе эмпирической компоненты медицинских знаний. Этому подходу также способствует прецедентный характер управления и принятия решений в медицине. В целом полученные результаты свидетельствуют о том, что прецедентный подход обладает достаточной эффективностью и может органично дополнять другие основанные на знаниях подходы к поддержке принятия врачебных решений.

В качестве ограничений прецедентного подхода укажем на необходимость иметь достаточно репрезентативный БКД верифицированных прецедентов, исключающий врачебные ошибки. С другой точки зрения прецеденты с допущенными и выделенными в них врачебными ошибками также представляют интерес для обучения врачей и предупреждения подобных ошибок. Представляет также ценность информация о том, к чему привели эти ошибки, как и насколько их удалось исправить. Следовательно, прецедентный подход может широко использоваться при обучении. Обратной стороной преимуществ прецедентного подхода, выражающихся в отсутствии необходимости формализации научных знаний, является слабое когнитивное обоснование предлагаемых рекомендаций. Все обоснование сводится к тому, что «в похожем на этот клиническом случае лечили именно так». Видны также проблемы с оптимизацией используемых метрик, сжатием описания состояний и построением процедуры обучения. Эти проблемы связаны с большой размерностью, как пространства характеристик состояний, так и выборки клинических прецедентов. Однако, обсуждение этих проблем и возможных решений мы оставляем за рамками настоящего исследования.

7. Концептуальная модель СППР

В результате проведенных исследований разработана концепция гибридной СППР, основанной на явных и неявных знаниях. Ядром модели должен быть сервер обработки сложных событий. На него же ложится функция обработки правил вывода (продукций).

Концепция активной МИС, реализуемой на основе мультиагентного подхода, обсуждается в [?17]. Прочитируем постановочную часть этой работы. «Современные МИС предлагают врачам воспользоваться интеллектуальной автоматизацией, системами поддержки принятия врачебных решений, предлагают множество аналитических средств работы с данными. Однако врачи склонны все это игнорировать,

предпочитая ограничиваться только необходимым обязательным минимумом по вводу и обработке данных. Решение данной проблемы видится в пересмотре самой парадигмы взаимодействия врача (пользователя) и МИС. В работе [?35] такая парадигма работы МИС пятого поколения получила название «МИС — Ментор». К этому, по нашему мнению, необходимо добавить еще одно качественное определение: «МИС — автоматический ментор». Желательно избавиться от свойственной экспертным системам практики активного диалога с пользователем с запросом у пользователя недостающих, по мнению системы, данных и заменить диалог на самостоятельное «мягкое» ненавязчивое поведение системы, делающей свои логические выводы и рекомендации полностью автоматически на основе имеющихся данных, без вовлечения в этот процесс пользователя. Подсказки и рекомендации системы могут пользователем приниматься или игнорироваться, но они не вызовут отторжения, если будут сделаны автоматически и не потребуют обязательного диалога с системой. Очевидно, что при таком подходе МИС должна приобрести некоторую «субъектность» и стать полноправным активным участником автоматизации.»

МИС, построенные на указанных принципах (обработке сложных событий), уже возникают. 27 сентября 2018г. на заседании 82 рабочей группы в ВШЭ компания «Форс» представляла МИС-Т (МИС в идеологии Тавровского) [?36]. В.М.Тавровский является давним апологетом активного внедрения в МИС элементов контроля и автоматических решений в России [?37].

Основой системы МИС-Т, ее скелетом, служит активный динамический ситуационно управляемый контекстно-зависимый рабочий стол. Систему можно представить в виде сети, в узлах которой находятся некие ситуации. Ситуации контекстно зависимы (выбран пациент, выбрано отделение, поставлен диагноз, есть какие-то диагностические результаты и т.п., т.е. произошли определенные события). Для каждой ситуации предлагается определенный набор действий, сводящийся к вызову форм и вводу данных или к непосредственному переходу к другой ситуации. Ввод данных влияет на навигацию по сети и может после закрытия формы привести к новой ситуации с новым набором действий. Система ведет пользователя, предлагая ему возможные в данной ситуации действия и переходы. Формы ввода данных — это второй слой, работающий над активным динамическим рабочим столом.

После выбора диагноза для указанного пациента (перехода в определенную ситуацию с определенным контекстом) системой предлагаются возможные дифференциальные диагнозы и возможные осложнения. Далее можно двинуться по предложенным ссылкам (действиям), например, подтверждая или опровергая один из предложенных дифференциальных диагнозов.

Входов в ситуационную сеть много. Можно идти от диагнозов, симптомов и комплексов, диагностических данных, отдельных событий. В ситуации можно начать двигаться по определенному рекомендуемому системой алгоритму.

Алгоритмы имеют графическое представление. Система как бы динамически реализует обработку событий, оценку ситуаций, имеет некие рабочие потоки (workflow), задаваемые алгоритмами. В первую очередь даются рекомендации по лечебно-диагностическим действиям, но есть и поддержка различных контрольных административных действий. Производится оценка ситуаций и действий, отражаемая в рабочем столе с помощью цветовой индикации (красный цвет — есть проблемы, желтый предупреждающий, и обычный черный). Оценка ситуации позволяет сосредотачиваться на проблемах, «раскрывать» их с помощью навигации по сети, решать их с помощью предлагаемых действий и алгоритмов.

Ввод новых данных может изменять оценку ситуации, действий и переходов. Например, проблема, решенная при вводе данных, перестает идентифицироваться красным.

Все описанное, без сомнения, можно отнести к поддержке принятия решений. Как отметили участники совещания, никаких специфических методов искусственного интеллекта МИС-Т не использует. Она вся основана на явном медицинском знании, собранном и формализованном в течение 30-летней профессиональной деятельности самим В.М.Тавровским и его коллегами. Присутствовавшая на совещании эксперт Зарубина Т.В. отметила, что наиболее перспективным для решения проблемы поддержки принятия решений в медицине ей видится создание экспертных систем, систем «post Тавровского», по ее выражению.

Во всяком случае у нас нет никаких сомнений, что в основу СППР следует поставить» мультиагентную обработку сложных событий, СППР следует строить на основе принципов В.М.Тавровского, принципов активной МИС.

Перейдем к описанию предлагаемой концептуальной схемы СППР.

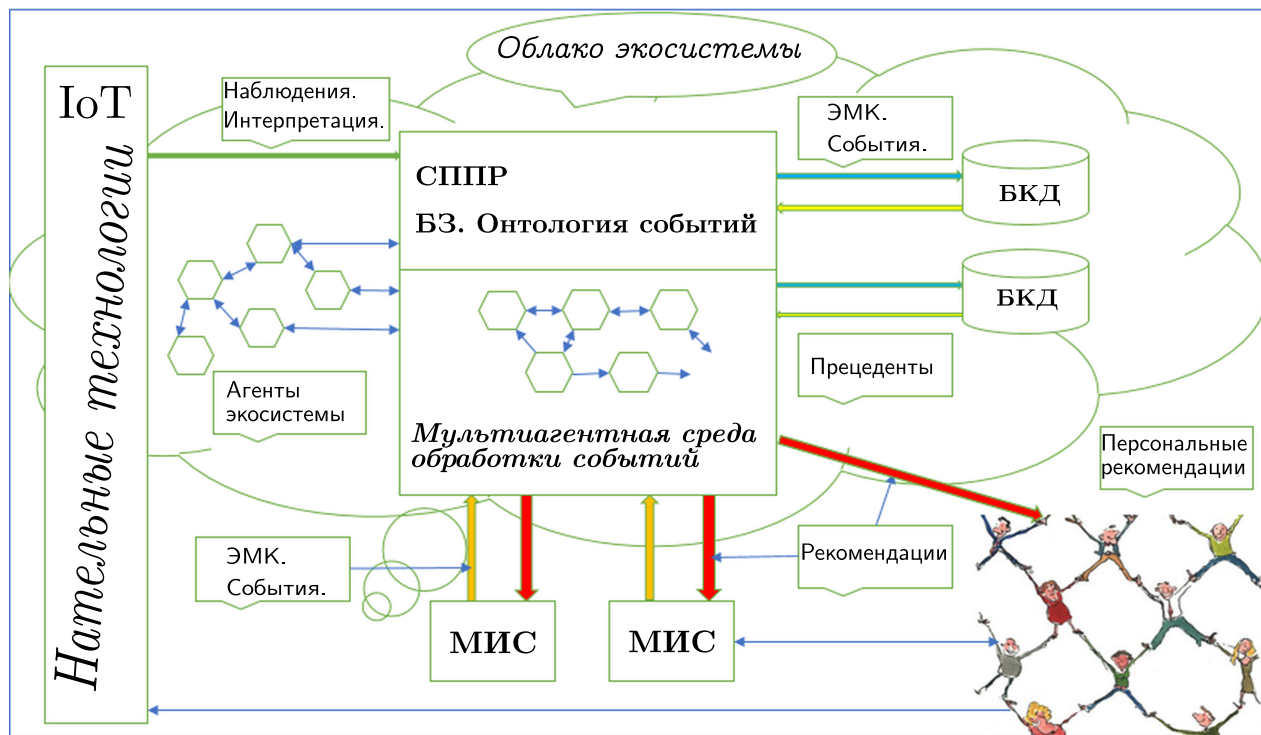


Рисунок 1. Концептуальная схема СППР

На рисунке ?? фрагментарно представлена сложная гетерогенная, как сейчас принято говорить, экосистема цифрового здравоохранения. МИСы являются источниками данных о контролируемых ими ЛДП, связанных с реальными пациентами. Каждый ввод новых данных, а также временные таймеры, порождают потоки различных событий, отражающие изменения в состоянии пациентов, появление новых диагностических данных, отражающие принятые врачами решения в виде лечебно-диагностических назначений и поставленных диагнозов.

Все события, интересующие мультиагентную среду обработки событий, по традиции часто называемую сервером обработки сложных событий, обрабатываются в этой среде. При этом обработчики событий могут порождать новые события, которые в свою очередь попадают в среду на обработку.

Возможности такой среды для организации сложного поведения не ограничены. В результате обработки могут производиться логические выводы, основанные на заложенных в среду знаниях, в самом простом и практически эффективном виде — это будут продукты.

Активная среда может обращаться к другим агентам экосистемы, как к сервисам, для получения от них результатов обработки и интерпретации различных данных. Например, в качестве агентов экосистемы могут выступать упомянутые в первой части работы SkyChain, IBM Doctor Watson.

В экосистеме могут присутствовать банки верифицированных клинических данных. СППР может обращаться к БКД с целью поиска близких клинических прецедентов, и использования найденных прецедентов для информирования врача. Среда обработки событий будет генерировать персонифицированные рекомендации для пациентов и направлять рекомендации в МИС заинтересованным в них пользователям (врачам). В экосистему должны будут органично вписаться различные мобильные медицинские приборы.

Итак, СППР содержит формализованные медицинские знания. Эти знания представлены в следующих формах:

- (а) прецеденты случаев в виде последовательностей (потоков) произошедших событий;
- (б) систем знаний (технологические карты, клинические рекомендации, клинические пути и т.п.), формализованных в виде построенных на событиях правил вывода:

- (в) модулей - решателей (деревья принятия решений, нейронные сети и т.п.), обученных методами машинного обучения для решения отдельных частных задач поддержки принятия решений.

Очевидно, что комплексное решение проблемы СППР в медицине требует постановки этой задачи как большого проекта государственного уровня, подобно атомному или космическому проекту СССР. Это вполне оправдано, если учесть, что здоровье граждан России является таким же важным стратегическим ресурсом как газ, нефть или уран.

Существенное влияние на контекст решения задач автоматизации поддержки принятия врачебных решений оказывают выходящие за рамки научной статьи состояние отечественного здравоохранения по сравнению с Западом [738] и критика политики государства в сфере здравоохранения, представленная новостями профессиональных порталов как например medvestnik.ru и osdm.org.

Национальную экосистему здравоохранения следовало бы создавать сверху, чтобы получить наибольший эффект. Даже отдельные крупные информационные компании и государственные органы (Яндекс, Минздрав, Правительство Москвы и др.) не в силах в одиночку дать комплексное решение задачи. Поэтому на данной стадии развития отечественной системы здравоохранения предлагается поступать прагматически, т.е. делать возможное. Необходимо исходить из ресурсных возможностей и требований конкретных МО, или объединений МО, которые могут сильно ограничить решаемую задачу, выделить конкретные знания, факты, события, данные на основе которых и будет вестись разработка конкретной частной СППР.

Заключение

Проблема построения СППР в медицине является очень сложной, комплексной. Решение проблемы невозможно получить без преодоления сформулированных в статье концептуальных барьеров. В работе рассмотрены возможные подходы к построению гибридной СППР, ориентированные на различные формы представления медицинских знаний.

Основной подход к решению поставленной проблемы был принят следующий. Рассматривались две возможности создания СППР на явных и неявных знаниях. Оценивались возникающие при этом

концептуальные барьеры, преимущества и недостатки каждого из подходов. Оценивался общий контекст решения проблемы. Предложено несколько возможных апробированных подходов к построению СППР.











- Для явных знаний предлагается широко использовать клинические рекомендации Минздрава, которые легко формализуются в виде продукций — логических выражений «если-то». При использовании неявного знания рекомендации формируются на основе прецедентного подхода.
- Для данного клинического случая в банке клинических случаев подбираются ближайшие в смысле заданной метрики прецеденты. Найденный прецедент становится источником рекомендаций лечебно-диагностических мероприятий.
- Для быстрого поиска прецедентов применяется структурирование клинических данных на графах тесного мира.









Ранее для семи широко распространенных нозологий на основе представительных выборок реальных клинических данных статистически была оценена точность рекомендаций, основанных на прецедентном подходе. Указывается экспертная оценка необходимой точности СППР, приводятся мнения авторитетных экспертов по проблеме. Предлагается концептуальная схема СППР, опирающаяся на современный и прогнозируемый в ближайшем будущем уровень ИТ.


Благодарности. Автор искренне благодарен Гулиеву Я.И. и Михееву А.Е. за интерес к работе и конструктивную критику.

Список литературы

- [1] С. Н. Бутко, В. К. Ольшанский. «Новые системы поддержки принятия решений в медицине за рубежом», *Автоматика и телемеханика*, 1990, №6, с. 3–19. [↑](#)
- [2] I. V. Efimenko, V. F. Khoroshevsky. “Intelligent decision support systems in medicine: state of the art and beyond in Russian”, *Open Semantic Technologies for Intelligent Systems* (Minsk, Belarus, 2017). [URL](#) [↑](#)
- [3] E. J. Topol. “High-performance medicine: the convergence of human and artificial intelligence”, *Nature Medicine*, **25** (2019), pp. 44–56. [doi](#) [↑](#)
- [4] B. Meskó et al. *Digital Health Trends: What to expect in 2019?* The Medical Futurist, 17 January 2019. [URL](#) [↑](#)
- [5] И. Шеян. *Винтики против системы*, ИТ в здравоохранении. Открытые системы, 28.09.2016. [URL](#) [↑](#)

- [6] E. Herrett et al. “Data resource profile: Clinical Practice Research Datalink (CPRD)”, *International Journal of Epidemiology*, **44:3** (2015), pp. 827–836.  ↑
- [7] M. L. Gentil et al. “Factors influencing the development of primary care data collection projects from electronic health records: a systematic review of the literature”, *BMC Medical Informatics and Decision Making*, **17** (2017), 139.  ↑
- [8] В. Л. Малых, А. Е. Михеев, С. В. Рудецкий. «Проблемно-ориентированная модель банка клинических данных», *Программные системы: теория и приложения*, **9:4(39)** (2018), с. 219–237.  ↑
- [9] Г. Игнатенкова, О. Гончарова. «Киборгвыводы: почему искусственный интеллект в медицине не работает без техподдержки администрации президента», *Vademecum*, 22 октября 2018 г., №17-18.  ↑
- [10] А. Пятов. *Как мы искали признаки врачебных ошибок*, Хабр: Компания SAS Russia.  ↑
- [11] В. Л. Малых, Я. И. Гулиев, Д. В. Бельшев. «Построение банка клинических данных на основе унифицированной модели лечебно-диагностического процесса», *Труды XVII международной конференции DAMDID/RCDL '2015* (Обнинск, 13–16 октября 2015), ред. Л.А. Калинин, С.О. Старков, ИАТЭ НИЯУ МИФИ, Обнинск, 2015, ISBN 978-5-9530-0398, с. 421–422. ↑
- [12] V. L. Malykh, D. V. Belyshev. “Case-based reasoning in clinical processes using clinical data banks”, *Proceedings of 2015 International Conference on Biomedical Engineering and Computational Technologies (SIBIRCON) 8–30 October 2015, Russia, Technopark of Novosibirsk Akademgorodok*, IEEE Conference Publications, pp. 211–216.  ↑
- [13] В. Л. Малых, Я. И. Гулиев. «Управляемый стохастический прецедентный процесс с памятью как математическая модель лечебно-диагностического процесса», *Информационные технологии и вычислительные системы*, 2014, №2, с. 60–72.  ↑
- [14] В. Л. Малых, С. В. Рудецкий, М. И. Хаткевич. «Активная МИС», *Врач и информационные технологии*, 2016, №6, с. 16–24. ↑
- [15] M. Prosperi et al. “Big data hurdles in precision medicine and precision public health”, *BMC Medical Informatics and Decision Making*, **18** (2018), 139.  ↑
- [16] V. L. Malykh, I. N. Kononenko, S. V. Rudetskiy. “Estimation of accuracy of recommended diagnostic and treatment actions based on precedent approach”, *Proceedings of the International Conference e-Health 2016* (Madeira, Portugal, July 1-4, 2016), pp. 52–58. ↑
- [17] V. L. Malykh, S. V. Rudetskiy. “Approaches to medical decision-making based on big clinical data”, *Journal of Healthcare Engineering*, **2018** (2018), 3917659, 10 pp.   ↑

- [18] *Evidence-based clinical decision support at the point of care* (data accessed: 11.01.2017).  ↑
- [19] F. Caron, J. Vanthienen, B. Baesens. "Healthcare analytics: examine the diagnosis-treatment cycle", *Procedia Technology*, **9** (2013), pp. 996–1004. ↑
- [20] G. I. Nazarenko et al. "Multifunctional clinical decision support system based on clinical practice guidelines", *Proceedings of 2015 International Conference on Biomedical Engineering and Computational Technologies (SIBIRCON)*, IEEE Conference Publications (28–30 October 2015, Russia, Technopark of Novosibirsk Akademgorodok), pp. 72–75.  ↑
- [21] D. Palchunov et al. "Software system for the diagnosis of the spine diseases using case-based reasoning", *Proceedings of 2015 International Conference on Biomedical Engineering and Computational Technologies (SIBIRCON)*, IEEE Conference Publications (28–30 October 2015, Russia, Technopark of Novosibirsk Akademgorodok), pp. 205–210.  ↑
- [22] G. Kopanitsa, I. Semenov. "Patient facing decision support system for interpretation of laboratory test results", *BMC Medical Informatics and Decision Making*, **18** (2018), 68.  ↑
- [23] G. R. Arutyunyan, A. S. Dmitriev. "IBM Watson oncology solution: application experience", *Data Analytics and Management in Data Intensive Domains*, XVII International Conference DAMDID/RCDL'2015 (October 13–16, 2015, Obninsk, Russia), eds. L. Kalinichenko, S. Starkov, INPE NRNU MEPhI, Obninsk, 2015, ISBN 978-5-9530-0398, pp. 140–142. ↑
- [24] A. Gavrilov, A. S. Semenikhin. "New era of cognitive computing: IBM Watson", *Data Analytics and Management in Data Intensive Domains*, XVII International Conference DAMDID/RCDL'2015 (October 13–16, 2015, Obninsk, Russia), eds. L. Kalinichenko, S. Starkov, INPE NRNU MEPhI, Obninsk, 2015, ISBN 978-5-9530-0398, pp. 135–139. ↑
- [25] D. Hernandez, T. Greenwald. "IBM has a Watson dilemma", *The Wall Street Journal*, 2018.  ↑
- [26] E. Meinert et al. "Weighing benefits and risks in aspects of security, privacy and adoption of technology in a value-based healthcare system", *BMC Medical Informatics and Decision Making*, **18** (2018), 100.  ↑
- [27] V. Malykh, Y. Guliev. "Precedent approach to decision making in clinical processes", *Studies in Health Technology and Informatics*, vol. **216**, eds. I. N. Sarkar et al, IMIA and IOS Press, 2015, pp. 957.  ↑
- [28] T. Handler and B. Hieb. "The Updated Gartner CPR Generation Criteria", *Gart. Teleconference*, vol. **13**, 2007.  ↑
- [29] Л. В. Красичков. «Реализация СППР в МИС по методологии В.М. Тавровского», "Искусственный интеллект и поддержка принятия решений в медицине III" (82-е заседание рабочей группы IT-специалистов

медицинских организаций "Виртуальная и мобильная медицина"), 27 сентября 2018 г; «„Ай-ФОРС“ представил МИС-Т на заседании рабочей группы в ВШЭ», *Интернет-журнал «FORS»*, 2018, №12,.  ↑

- [30] В. М. Тавровский. *Автоматизация лечебно-диагностического процесса*, ООО "Вектор Бук", Тюмень, 2009, ISBN 978-5-91409-090-3, 464 с. ↑
- [31] А. А. Акаев. *Сценарий и перспективы развития России*, ред. В. А. Садовничий, А. А. Акаев, А. В. Кортаев, Г. Г. Малинецкий, Ленанд, М., 2011, ISBN 978-5-9710-0339-7, 317 с. ↑

Поступила в редакцию 19.02.2019

Переработана 19.06.2019

Опубликована 30.06.2019


Рекомендовал к публикации


к.т.н. Я. И. Гулиев

Пример ссылки на эту публикацию:

В. Л. Малых. «Системы поддержки принятия решений в медицине».

Программные системы: теория и приложения, 2019, **10:2(41)**, с. 155–184.

 10.25209/2079-3316-2019-10-2-155-184

 http://psta.psiras.ru/read/psta2019_2_155-184.pdf

Об авторе:



Владимир Леонидович Малых

Зав. лабораторией Института программных систем им. А. К. Айламазяна. Область научных интересов — медицинские информационные системы



0000-0002-0072-0724

e-mail: mvl@interin.ru

UDC 61:007








Vladimir L. Malykh. *Decision support systems in medicine.*

ABSTRACT. The problem of decision support in medicine comes to the forefront in the problems of intellectualization of medicine. The article discusses the barriers to solving the problem of creating a DSS for medicine. Based on the analytical review, possible approaches to overcoming conceptual barriers are presented. In the paper considers a hybrid model of a wide class of decision support systems for medicine. The results can be used by IT developers to build systems to support medical decision-making based on the scientific and empirical component of medical knowledge.

Key words and phrases: medical Informatics, medical information systems, decision making, case-based reasoning, complex event processing, event processing network, multi-agent systems, ontology.

2010 *Mathematics Subject Classification:* 68P15; 68P20, 92C50


References

- [1] S. N. Butko, V. K. Ol'shanskiy. "Novyye sistemy podderzhki prinyatiya resheniy v meditsine za rubezhom", *Avtomatika i telemekhanika*, 1990, no.6, pp. 3–19. 
- [2] I. V. Efimenko, V. F. Khoroshevsky. "Intelligent decision support systems in medicine: state of the art and beyond in Russian", *Open Semantic Technologies for Intelligent Systems* (Minsk, Belarus, 2017). 
- [3] E. J. Topol. "High-performance medicine: the convergence of human and artificial intelligence", *Nature Medicine*, **25** (2019), pp. 44–56. 
- [4] B. Meskó et al. *Digital Health Trends: What to expect in 2019?* The Medical Futurist, 17 January 2019. 
- [5] I. Sheyan. *Vintiki protiv sistemy*, IT v zdravookhraneni. Otkrytyye sistemy, 28.09.2016. 
- [6] E. Herrett et al. "Data resource profile: Clinical Practice Research Datalink (CPRD)", *International Journal of Epidemiology*, **44**:3 (2015), pp. 827–836. 
- [7] M. L. Gentil et al. "Factors influencing the development of primary care data collection projects from electronic health records: a systematic review of the literature", *BMC Medical Informatics and Decision Making*, **17** (2017), 139. 











© V. L. MALYKH, 2019








© AILAMAZYAN PROGRAM SYSTEMS INSTITUTE OF RAS, 2019

© PROGRAM SYSTEMS: THEORY AND APPLICATIONS (DESIGN), 2019

 10.25209/2079-3316-2019-10-2-155-184




- [8] V. L. Malykh, A. Ye. Mikheyev, S. V. Rudetskiy. "Problem-oriented model of clinical data Bank", *Program Systems: Theory and Applications*, **9**:4(39) (2018), pp. 219–237.  [↑](#)
- [9] G. Ignatenkova, O. Goncharova. "Kiborgvyvody: pochemu iskusstvennyy intellekt v meditsine ne rabotayet bez tekhpodderzhki administratsii prezidenta", *Vademecum*, 22 oktyabrya 2018 g., no.17-18.  [↑](#)
- [10] A. Pyatov. *Kak my iskali priznaki vrachebnykh oshibok*, Khabr: Kompaniya SAS Russia.  [↑](#)
- [11] V. L. Malykh, Ya. I. Guliyev, D. V. Belyshev. "Building a clinical data bank based on a unified model of the medical diagnostic process", *Data Analytics and Management in Data Intensive Domains*, XVII International Conference DAMDID/RCDL'2015 (October 13–16, 2015, Obninsk, Russia), eds. L. Kalinichenko, S. Starkov, INPE NRNU MEPhI, Obninsk, 2015, ISBN 978-5-9530-0398, pp. 421–422. [↑](#)
- [12] V. L. Malykh, D. V. Belyshev. "Case-based reasoning in clinical processes using clinical data banks", *Proceedings of 2015 International Conference on Biomedical Engineering and Computational Technologies (SIBIRCON) 8–30 October 2015, Russia, Technopark of Novosibirsk Akademgorodok*, IEEE Conference Publications, pp. 211–216.  [↑](#)
- [13] V. L. Malykh, Ya. I. Guliyev. "Mathematical model of clinical processes implemented in the class of stochastic Markov control processes with memory", *Informatsionnyye tekhnologii i vychislitel'nyye sistemy*, 2014, no.2, pp. 60–72.  [↑](#)
- [14] V. L. Malykh, S. V. Rudetskiy, M. I. Khatkevich. "Aktivnaya MIS", *Vrach i informatsionnyye tekhnologii*, 2016, no.6, pp. 16–24. [↑](#)
- [15] M. Prosperi et al. "Big data hurdles in precision medicine and precision public health", *BMC Medical Informatics and Decision Making*, **18** (2018), 139.  [↑](#)
- [16] V. L. Malykh, I. N. Kononenko, S. V. Rudetskiy. "Estimation of accuracy of recommended diagnostic and treatment actions based on precedent approach", *Proceedings of the International Conference e-Health 2016* (Madeira, Portugal, July 1-4, 2016), pp. 52–58. [↑](#)
- [17] V. L. Malykh, S. V. Rudetskiy. "Approaches to medical decision-making based on big clinical data", *Journal of Healthcare Engineering*, **2018** (2018), 3917659, 10 pp.   [↑](#)
- [18] *Evidence-based clinical decision support at the point of care* (data accessed: 11.01.2017).  [↑](#)
- [19] F. Caron, J. Vanthienen, B. Baesens. "Healthcare analytics: examine the diagnosis-treatment cycle", *Procedia Technology*, **9** (2013), pp. 996–1004. [↑](#)
- [20] G. I. Nazarenko et al. "Multifunctional clinical decision support system based on clinical practice guidelines", *Proceedings of 2015 International Conference on Biomedical Engineering and Computational Technologies (SIBIRCON)*, IEEE Conference Publications (28–30 October 2015, Russia, Technopark of Novosibirsk Akademgorodok), pp. 72–75.  [↑](#)
- [21] D. Palchunov et al. "Software system for the diagnosis of the spine diseases using case-based reasoning", *Proceedings of 2015 International Conference on Biomedical Engineering and Computational Technologies (SIBIRCON)*, IEEE

- Conference Publications (28–30 October 2015, Russia, Technopark of Novosibirsk Akademgorodok), pp. 205–210. ↑
- [22] G. Kopanitsa, I. Semenov. “Patient facing decision support system for interpretation of laboratory test results”, *BMC Medical Informatics and Decision Making*, **18** (2018), 68. ↑
- [23] G. R. Arutyunyan, A. S. Dmitriev. “IBM Watson oncology solution: application experience”, *Data Analytics and Management in Data Intensive Domains*, XVII International Conference DAMDID/RCDL’2015 (October 13–16, 2015, Obninsk, Russia), eds. L. Kalinichenko, S. Starkov, INPE NRNU MEPhI, Obninsk, 2015, ISBN 978-5-9530-0398, pp. 140–142.↑
- [24] A. Gavrilov, A. S. Semenikhin. “New era of cognitive computing: IBM Watson”, *Data Analytics and Management in Data Intensive Domains*, XVII International Conference DAMDID/RCDL’2015 (October 13–16, 2015, Obninsk, Russia), eds. L. Kalinichenko, S. Starkov, INPE NRNU MEPhI, Obninsk, 2015, ISBN 978-5-9530-0398, pp. 135–139.↑
- [25] D. Hernandez, T. Greenwald. “IBM has a Watson dilemma”, *The Wall Street Journal*, 2018. ↑
- [26] E. Meinert et al. “Weighing benefits and risks in aspects of security, privacy and adoption of technology in a value-based healthcare system”, *BMC Medical Informatics and Decision Making*, **18** (2018), 100. ↑
- [27] V. Malykh, Y. Guliev. “Precedent approach to decision making in clinical processes”, *Studies in Health Technology and Informatics*, vol. **216**, eds. I. N. Sarkar et al, IMIA and IOS Press, 2015, pp. 957. ↑
- [28] T. Handler and B. Hieb. “The Updated Gartner CPR Generation Criteria”, *Gart. Teleconference*, vol. **13**, 2007. ↑
- [29] L. V. Krasichkov. “Realizatsiya SPPR v MIS po metodologii V.M. Tavrovskogo”, “Iskustvennyy intellekt i podderzhka prinyatiya resheniy v meditsine III” (82-ye zasedaniye rabochey gruppy IT-spetsialistov meditsinskikh organizatsiy “Virtual’naya i mobil’naya meditsina”), 27 sentyabrya 2018 g; “I-FORS” presented MIS-T on a workgreoup session in HSE”, *Internet-zhurnal “FORS”*, 2018, no.12,. ↑
- [30] V. M. Tavrovskiy. *Avtomatizatsiya lechebno-dagnosticheskogo protsessa*, OOO “Vektor Buk”, Tyumen’, 2009, ISBN 978-5-91409-090-3, 464 pp.↑
- [31] A. A. Akayev. *Stsenariy i perspektivy razvitiya Rossii*, eds. V. A. Sadovnichiy, A. A. Akayev, A. V. Korotayev, G. G. Malinetskiy, Lenand, M., 2011, ISBN 978-5-9710-0339-7, 317 pp.↑

Sample citation of this publication:

Vladimir L. Malykh. “Decision support systems in medicine”. *Program Systems: Theory and Applications*, 2019, **10**:2(41), pp. 155–184. (*In Russian*).

 10.25209/2079-3316-2019-10-2-155-184

 http://psta.psiras.ru/read/psta2019_2_155-184.pdf