

УДК 004.822, 004.827

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ВРАЧА-СТОМАТОЛОГА НА ОСНОВЕ СЕМАНТИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

А. В. Крошилин, д.т.н., профессор кафедры ВПМ РГРТУ, Рязань, Россия;
orcid.org/0009-0007-0044-6570, e-mail: av_kroshilin@mail.ru

С. В. Крошилина, к.т.н., доцент кафедры ВПМ РГРТУ, Рязань, Россия;
orcid.org/0009-0009-0067-1115, e-mail: kroshilina_rzn@mail.ru

Д. А. Перепелкин, д.т.н., профессор, декан ФВТ РГРТУ, Рязань, Россия;
orcid.org/0000-0003-4775-5745, e-mail: perepelkin.d.a@rsreu.ru

А. А. Попова, старший инженер по разработке, Блок «Технологии» ПАО Сбербанк, Рязань, Россия;
orcid.org/0000-0002-7166-3974, e-mail: popova.anni@mail.ru

Использование современных технологий может позволить более эффективно управлять своей практикой врачам-стоматологам. В ежедневных задачах управления специалисту часто приходится оценивать гипотезы, относительно которых имеется неполная или недостаточная информация. Из-за сложности точных оценок в условиях неопределенности перед лицом, принимающим решения по управлению процессом, возникает необходимость обоснования выбора единственного варианта из множества подходящих. При проектировании организационной системы, в состав которой входит аналитическая информационная система, необходимо учитывать наличие некоторых сомнений в четкости проявления симптомов того или иного заболевания. При этом неопределенность относительно наличия у пациента конкретного заболевания сохраняется даже в случае, когда все его симптомы отчетливо выражены. Математическое и компьютерное моделирование процессов принятия управленческих решений врача-стоматолога базируется на семантических сетях, теории нечетких множеств, системном анализе, теории поддержки принятия решений, теории управления в организационных системах. Врач-стоматолог вводит в программу данные клинической картины после осмотра полости рта: количество сохранившихся зубов, ИРОПЗ, кариозные полости по Блэку, бруксизм, аллергоанамнез, витальность, подвижность зубов, гигиенический индекс и т.д. Кроме того, в качестве входных данных используются клинические условия, которые приводят врача к наилучшему варианту функциональной конструкции. Выходными данными являются управленческое решение (вид съёмного или несъёмного варианта ортопедической реабилитации) и рекомендации по выбору схемы лечения.

***Целью работы** является математическое и компьютерное моделирование процессов принятия управленческих решений врача-стоматолога с применением теории семантических сетей.*

***Ключевые слова:** интеллектуальная аналитическая система, математическое моделирование, компьютерное моделирование, семантические сети, нечеткие множества, управление в организационных системах, теория поддержки принятия решений, продукционные правила.*

DOI: 10.21667/1995-4565-2024-89-127-140

Введение

В «Национальной стратегии развития искусственного интеллекта на период до 2030 года» (Указ Президента Российской Федерации от 10.10.2019 № 490 «О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации») отмечено, что вопросы управления в здравоохранении являются одними из приоритетных для практического применения систем искусственного интеллекта (ИИ). А с помощью внедрения систем искусственного интеллекта (ИИ) в медицинские организации становится возможным повышение качества медицинской помощи [1].

Несмотря на значительный технологический прогресс в области вычислительной техники, машинного обучения и методов искусственного интеллекта, широкого практического

применения системы поддержки принятия решений (СППР, DSS – *Decision Solution Systems*) в медицине пока не достигнуто. Однако использование интеллектуальных аналитических систем в составе организационных систем является основой для формирования цифрового здравоохранения.

Одним из современных ведущих принципов совершенствования стоматологической помощи является внедрение в практику врача-стоматолога информационно-аналитических систем, которые, благодаря эффективным методам планирования медицинской деятельности, позволяют принимать научно обоснованные управленческие решения, в то же время в сфере стоматологии их очень мало, крупнейшими являются DIMA, DIANA, DIAGNOCAT [2].

Предлагаемая в работе система использует не одно, а несколько представлений знаний. Исполняемые инструкции представлены либо в виде производственных правил, либо в виде модулей (процедур), вызываемых в соответствии с образцом. Для представления модели предметной области в организационной системе используются объектный подход и сетевые модели.

Перед этапом непосредственной разработки информационно-аналитической системы поддержки принятия решений врача-стоматолога требуется оценить потребительский спрос и спроектировать систему, в наибольшей степени соответствующую ожиданиям пользователей. Это называется экономическим проектированием, при котором функциональность системы определяется текущим состоянием рынка, предложениями конкурентов и потребностями потенциальных покупателей в продукте. При этом необходимо обратить внимание на то, что требования, сформулированные на управленческом и экономическом этапах анализа проекта, ложатся в основу при реализации конечного технического решения. Данный подход позволяет максимально точно предсказать ожидания пользователей от продукта [3, 4].

Совместная работа специалистов в области технологий, управления и стоматологии позволяет не только разрабатывать программное обеспечение, но, что более важно, разрабатывать его в соответствии с потребностями рынка [5, 6, 7].

Теоретическая часть

Принятие управленческих решений в условиях неопределенности и риска в медицине

Часто в сфере здравоохранения специалисту приходится сталкиваться с принятием управленческих решений в условиях ограниченности информации или ее частичном отсутствии. Причем характер данной неопределенности может быть вызван различными факторами: от отсутствия у врача достаточных компетенций до невозможности обнаружения симптомов. Также особенностью взаимодействия специалиста с пациентом является то, что с формальной точки зрения параметры (показатели жизнедеятельности человека) системы (организма человека) являются динамическими, а зачастую вообще стохастическими. Несмотря на то что принимать решение нужно, основываясь на данных, полученных в конкретный момент времени, необходимо учитывать параметры в динамике, иначе говоря, проводить анализ предыдущих значений и выявлять причины изменений. Более того, следует учитывать и возможные последствия выбранного лечения и прогнозировать возможные улучшения или ухудшения состояния организма пациента [7, 8].

Но поскольку у врача редко бывает полная клиническая картина состояния здоровья пациента, и сам пациент может утаивать часть информации, то врач оказывается в ситуации, когда решение необходимо принимать в условиях частичной неопределенности и возможных рисков последствий принятия решения.

Управленческие решения в медицинской сфере остаются одними из самых обширных с точки зрения влияния на общество, поскольку вне зависимости от масштаба организации врач влияет на судьбы многих людей через одного пациента.

Медицинская диагностика носит вероятностный характер. Это происходит в силу влияния на нее факторов, которые сами по себе являются нечеткими и находятся в нечетких от-

ношениях между собой (рисунок 1). В процессе диагностического процесса можно выделить 6 этапов [9] (рисунок 2), и на каждом из них могут зарождаться ошибки, влияющие на конечный диагноз.

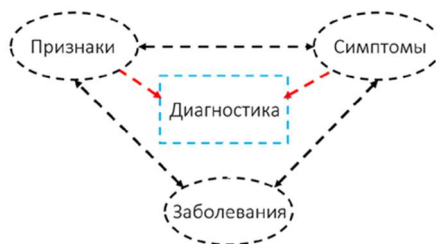


Рисунок 1 – Визуальное отображение влияния нечетких факторов на конечный результат

Figure 1 – Visual representation of the influence of fuzzy factors on the final result

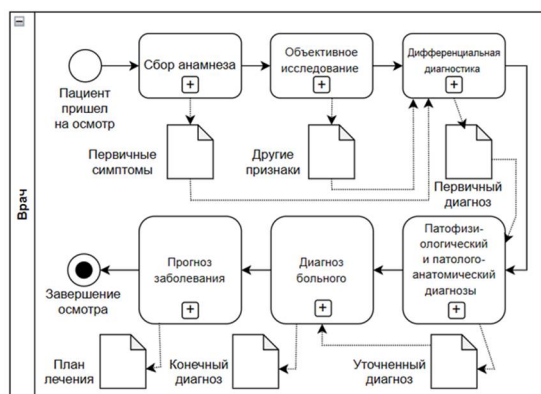


Рисунок 2 – Этапы диагностического процесса в нотации BPMN

Figure 2 – Stages of the diagnostic process in BPMN notation

Общий уровень неопределённости (ОУН, General Level of Uncertainty, $GLoU$) в системе можно описать формулой (1).

$$GLoU = \prod_{i=1}^n LLoU_i, \quad (1)$$

где $GLoU$ – общий уровень неопределенности, n – число этапов в системе, $LLoU_i$ – локальный уровень неопределенности на каждом этапе.

Для оценки ОУН необходимо ввести 3 матрицы (2) – (4): матрицу относительного влияния параметров принятия решения (ПарПР) друг на друга (Relative Influence of Parameters, $MRIoP$); матрицу частного уровня неопределенности (ЧУН, Special Level of Uncertainty, $SLoU$) каждого ПарПР на каждом этапе ($MSLoU$) и результирующую матрицу, являющуюся произведением первой матрицы на вторую (RM).

$$MRIoP(m \times m) = \begin{bmatrix} 1 & iop_{12} & iop_{13} & \dots & iop_{1m} \\ iop_{21} & 1 & iop_{23} & \dots & iop_{2m} \\ iop_{31} & iop_{32} & 1 & \dots & iop_{3m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ iop_{m1} & iop_{m2} & iop_{m3} & \dots & 1 \end{bmatrix}. \quad (2)$$

Первая матрица (2) представляет собой квадратную матрицу $m \times m$, где m – число ПарПР. В строках и столбцах располагаются ПарПР, а на пересечении строки и столбца – влияние одного параметра на другой (influence on parameter, iop), значение которого лежит в диапазоне $[0; 1]$, где 0 – признак абсолютно не влияет на другой, а 1 – находится в прямой зависимости. По диагонали располагаются единицы, поскольку влияние параметра самого на

себя равно 1. Следует отметить, что особенностью моделирования зависимостей управленческого процесса в медицине выступает тот факт, что влияние факторов не является симметричным, т.е., если Параметр1 влияет на Параметр2 со значением 0.3, то Параметр2 может не влиять на Параметр1 с таким же значением. Например, симптом «Кариес» значительно (0.7) влияет на симптом «Воспаление десен», однако само «Воспаление десен» может быть вызвано «Кариесом» всего на 30 % (0.3). Таким образом, обратная корреляция не всегда является симметричной. Подобный подход позволяет оценить зависимости более полно, чем при симметричном подходе.

$$MSLoU(m \times n) = \begin{bmatrix} slou_{11} & slou_{12} & slou_{13} & \dots & slou_{1n} \\ slou_{21} & slou_{22} & slou_{23} & \dots & slou_{2n} \\ slou_{31} & slou_{32} & slou_{33} & \dots & slou_{3n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ slou_{m1} & slou_{m2} & slou_{m2} & \dots & slou_{mn} \end{bmatrix}. \quad (3)$$

Вторая матрица (3) представляет собой матрицу $m \times n$, где m – число ПарПП, n – число этапов в организационной системе. На пересечении строки и столбца располагается значение уровня неопределенности каждого параметра на каждом этапе ($slou$), диапазон значений которого равен $[0; 1]$, где 0 – отсутствие неопределенности.

Для того чтобы наиболее эффективно управлять принятием решений в медицинской сфере, следует выяснить, какой неопределенностью можно пренебречь, а какую следует снижать путем уточнения параметров. Для расчета этого показателя вводится третья матрица интегральной оценки уровня неопределенности каждого параметра на каждом этапе. Она представляет собой скалярное произведение первой и второй матриц и является упомянутой выше результирующей третьей матрицей (RM).

Поскольку размерность первой матрицы $m \times m$, а второй матрицы – $m \times n$, то выполняется условие, необходимое для умножения матриц (число столбцов первой матрицы равно числу строк второй), и размер результирующей матрицы также равен $m \times n$, то есть в строках располагаются параметры, а в столбцах – этапы.

$$RM(m \times n) = \begin{bmatrix} 1 \times slou_{11} + iop_{12} \times slou_{21} + \dots + iop_{1m} \times slou_{m1} = pus_{11} & pus_{12} & \dots & pus_{1n} \\ pus_{21} & pus_{22} & \dots & pus_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ pus_{m1} & pus_{m2} & \dots & pus_{mn} \end{bmatrix}. \quad (4)$$

Значение на пересечении строки и столбца – интегральная оценка уровня неопределенности параметра на каждом этапе (Parametr Uncertainty on the Stage, pus), которая складывается из влияния параметров друг на друга и степени их неопределенности.

Следует отметить, что получившаяся матрица является разреженной за счет того, что не все параметры влияют друг на друга, а также существуют параметры, у которых уровень неопределенности равен 0, то есть о нем все известно.

Таким образом, за счет интегральной оценки уровня неопределенности на каждом этапе и относительного влияния параметров друг на друга можно уточнить значение локального уровня неопределенности (ЛЮН, Local Level of Uncertainty, $LLoU$), который является суммой по столбцу рассматриваемого этапа результирующей матрицы (5).

$$LLoU_n = \sum_{i=1}^m pus_i, \quad (5)$$

где n – номер этапа, pus_i – значение из RM .

Для получения обоснованного и предсказуемого в будущем управленческого решения следует стремиться к снижению ОУН в системе, а поскольку все параметры находятся в

прямой зависимости друг от друга, то на снижение ОУН будет оказывать влияние на снижение ЛУН (1), а чтобы снизить ЛУН, необходимо снизить ЧУН (5).

В связи с этим актуальным остается применение математических методов и моделей, которые будут способствовать снижению уровня неопределенности в организационной системе.

Постановка задачи

После осмотра полости рта стоматолог вводит в программу данные о клинической картине: количество сохранившихся зубов, ИРОПСИС, кариозные полости по Блэку, бруксизм, аллергоанамнез, жизнеспособность, подвижность зубов, гигиенический индекс и т.д. Клинические условия используются в качестве входных данных, которые позволяют врачу выбрать оптимальный вариант функциональной конструкции. Выходные данные представляют собой управленческое решение (тип съемного или несъемного ортопедического варианта реабилитации) и рекомендации по выбору схемы лечения.

Недостатки существующих аналогов

В стоматологии есть три основные системы. DIMA – это персональный ассистент врача, основанный на искусственном интеллекте, генерирующая нейронная сеть, которая обучена отвечать на медицинские вопросы. Самым большим её недостатком является отсутствие привязки к конкретным клиентам и предоставления решения.

DIANA – это платформа для стоматологических клиник, основанная на искусственном интеллекте. Она умеет обрабатывать фотографии полости, но дает рекомендации только по гигиене.

DIAGNOCAT обеспечивает высококачественный скрининг рентгенологических исследований. Искусственный интеллект определяет анатомическое строение зубов, предшествующее лечение, типичные и нетипичные состояния для каждого зуба, однако нет поддержки принятия решений, предоставляются только отчеты по рентгеновскому снимку.

Таким образом, искусственный интеллект в рассматриваемых системах используется либо для обработки изображений, либо для генерации текста. То есть ни одну из упомянутых систем нельзя назвать рекомендательной, поскольку ни одна из них не помогает в постановке диагноза и не предоставляет альтернатив решению.

Существующие математические модели для решения задач поддержки принятия управленческих решений

Поиск новых путей повышения эффективности диагностического процесса в конце 60-х годов XX века привел к использованию математических методов в медицинской практике [10].

Понятие интеллектуального анализа данных используется для обозначения набора методов определения практически полезных знаний в данных, необходимых для принятия управленческих решений в различных областях деятельности, включая медицину [11]. Data mining – это обширная область, которая возникла и развивается в рамках поколения таких наук, как статистика, машинное обучение, искусственный интеллект [12].

В медицинской сфере существует 2 направления поддержки принятия управленческих медицинских решений: организационно-управленческая и лечебно-диагностическая. И то и другое определяется ролью лица, которое принимает медицинское решение, и конечной целью имеет повышение эффективности управления медицинским учреждением в целом [7, 13].

Поскольку количество вариантов, из которых врач выбирает нужную конструкцию ограничено, то задача принятия управленческого решения в данном контексте формализуется как разделение на классы по определенным критериям. Классификация – наиболее часто решаемая задача интеллектуального анализа данных, но несмотря на это, необходимо искать наиболее подходящие способы классификации для решения конкретной задачи. Именно поэтому решение задачи классификации остается актуальным и неисчерпаемым [4, 11].

Задачу классификации можно описать как прогнозирование категориальной зависимой переменной на основе выборки непрерывных и/или категориальных переменных.

Метод многомерной классификация был изобретен биологами для решения задач распознавания организмов, он был описан Р. Фишером в 1930 году. В основу разделения были положены результаты измерения физических параметров живых существ [1].

Задача классификации может быть решена различными методами, среди которых можно выделить следующие:

- деревья решений [5] (его основным достоинством является образность представления, которая обеспечивает интуитивное понимание полученных результатов, чего нет у алгоритмов, работающих по принципу «черного ящика», например нейронных сетей. Эта особенность деревьев решений помогает не только при отнесении к определенному классу нового объекта, но и при интерпретации классификационной модели в целом. Дерево решений позволяет построить цепочки зависимостей и обосновать, почему конкретный объект принадлежит к определенному классу);

- байесовская (наивная) классификация [9, 14] (можно отметить следующие сильные стороны байесовских сетей как способа интеллектуального анализа данных: благодаря определению модели зависимостей между всеми переменными можно без затруднений справиться с ситуациями, когда значения некоторых переменных неизвестны; простая интерпретация и проведение анализа сценария "что, если" на этапе прогнозного моделирования; комбинация закономерностей, которые получены на основе данных, и, например, знаний экспертов, которые получены явным образом; решение проблемы переобучения (переоснащения), или ненужного усложнения модели, что является недостатками некоторых других методов (в частности, деревьев решений и нейронных сетей);

- опорные векторы [14] (главной сильной стороной данного метода выступает возможность использования небольшого набора данных для работы. При условии, что тестовая выборка была корректна, данный алгоритм применим и для реальных данных);

- статистические методы (например, линейная регрессия);

- метод ближайшего соседа (среди главных сильных сторон можно выделить простоту использования полученных результатов; применимость для случаев, которые не были рассмотрены в тестовой выборке, так как они не являются уникальными; отсутствие ошибок (так как ищется не правильное решение, а наилучшее из возможных);

- метод CBR;

- генетические алгоритмы.

Обоснование применения теорий нечетких множеств и семантических сетей

Врач формирует список типов конструкций, соотносит их с параметрами клинической картины, а также определяет относительное влияние каждого параметра на управленческое решение по выбору конкретного плана лечения (конструкции протеза). Эксперт также определяет степень влияния побочных факторов на принятие управленческого решения и составляет список альтернативных конструкций для каждой конструкции, а также описывает возможные последствия установки одного протеза вместо другого, если замена в принципе возможна.

Отличительной особенностью этого подхода является то, что система предоставляет ранжированный список "подходящих" структур и, связывая структуры с параметрами, принимает обоснованное решение. В то же время врач как лицо, принимающее решения (ЛПР), выступает в качестве надзорного органа, который следит за корректностью работы системы. В случае каких-либо ошибок или несогласия с предоставленным решением, именно ЛПР вносит изменения в окончательную версию управленческого решения и вводит дополнительные правила в систему по мере необходимости.

Процесс принятия и реализации того или иного управленческого решения зависит от многих факторов. Во-первых, они зачастую субъективны и находятся в зависимости от качества, компетенций, опыта субъектов. Во-вторых, они часто формируются на основании оценки (шкал, критериев), которую выставляет лицо, принимающее решение. Это в

В этом случае степень принадлежности протезной конструкции к нечеткому набору подходящих протезных конструкций для данных клинической картины определяется интегральной оценкой, основанной на учете относительного веса каждого параметра для протезной конструкции и тяжести симптома (параметра) у пациента (7):

$$\mu_{PDFTP}(e) = \sum_{i=1}^n (pos_p_i \times imp_pd_i), \quad (7)$$

где $i = (1, \dots, n)$ – симптомы (параметры) пациента, pos_p_i – выраженность i -го симптома (параметра) у пациента, imp_pd_i – относительный вес i -го симптома для конструкции.

Для реализации моделей нечетких знаний необходимо выбрать инструменты для их построения и работы с ними (формально-логические системы, лингвистические переменные, нечеткие переменные, нечеткие системы, нечеткие логические правила и базовые схемы нечеткого вывода) [16].

В ряде работ российских исследователей [19, 20] рассматриваются основные методы нечеткой логики, а именно *FCM*-кластеризация, k -средние. Авторы рассматривают различные подходы и модификации уже известных методов, подчеркивая практическую значимость методов нечеткой кластеризации [6, 21, 22].

Теория нечетких множеств и нечеткая логика являются перспективными инструментами для разработки организационных систем, основанных на знаниях, в медицине для решения таких задач, как интерпретация наборов медицинских результатов, дифференциация синдромов, диагностика различных заболеваний, выбор оптимальной тактики лечения и наблюдение за пациентами в режиме реального времени [21, 23].

При использовании нечеткой производственной модели для воспроизведения процесса принятия управленческих решений в стоматологии моделируется процесс рассуждения стоматолога при выборе одной из $n1$ структур вариантов (опций) $O = \{o_1, o_2, \dots, o_j, \dots, o_{n1}\}$. В этом случае решение принимается с учетом $m1$ параметров (parameters) $P = \{p_1, p_2, p_3, \dots, p_{m1}\}$, важных для конкретной конструкции, например, количество сохранившихся зубов, наличие аллергии на акрил, наличие аллергии на металл, важность эстетики, наличие пародонтита и т.д.

Однако для эффективной процедуры поиска наилучшего дизайна необходимо использовать продукционные правила.

Ниже представлен пример нескольких продукционных правил для рассматриваемой предметной области.

- Если (в челюсти отсутствует более 8 зубов) И (в челюсти имеется более 6 зубов) И (хорошее состояние зубов) То "Частичный съемный пластинчатый протез".
- Если (в челюсти отсутствует более 8 зубов) И (в челюсти имеется более 6 зубов) И (плохое состояние зубов) То "Покрывающий протез".
- Если (пародонтита Нет) То "Несъемная конструкция".
- Если (есть аллергия на акрил) И (Важна эстетика) То "Бюгельный протез".
- Если (есть аллергия на акрил) И (эстетика НЕ важна) То "Бюгельный протез с фиксацией" и т.д.

Таким образом, разработанная СППР является интеллектуальной СППР, так как в основе ее работы лежат экспертные знания и данные, извлеченные из литературы и хранилищ историй болезни [4, 11, 22]. Подобный синтез позволяет принять во внимание особенности представления клинической информации, а также:

- при помощи методов нечеткой логики возможно представить неточную или неполную информацию, вербальные характеристики состояния пациента, это возникает либо из-за субъективной оценки исходных данных обследования, либо из-за трудности однозначной трактовки симптомов;
- при помощи механизма логического вывода оценить альтернативные способы принятия диагностических решений, при этом могут использоваться как прямой ход (на основе симптомов определяется диагноз), так и обратный (под диагноз «подгоняются» симптомы, служащие основой для принятия решений;

- возможность предоставления пояснений по поводу предлагаемого управленческого решения.

Компьютерное моделирование интеллектуальной системы поддержки принятия управленческих решений врача-стоматолога

Наиболее важным компонентом этапа диагностики является согласование подхода с врачами к разработке СППР, имитирующей или основанной на модели [6, 16, 18].

Этапы проекта представлены ниже:

- предметный анализ (изучение конкурентов, анализ бизнес-процессов, в рамках которых стоматолог принимает управленческие решения, изучение существующих алгоритмов и методов, выбор математического аппарата);
- подготовка данных (определение входных и выходных данных, формализация историй болезни);
- формулировка системных требований (описание функциональных и нефункциональных требований);
- разработка информационно-аналитической системы (создание базы знаний, формирование семантической сети, формулировка производственных правил, применение теории поддержки принятия управленческих решений и теории нечетких множеств, создание и обучение нейронной сети для обработки клинических изображений, создание клиентской и серверной частей системы);
- анализ результатов и продвижение (сбор обратной связи, поиск клиентов)

Разработанная интеллектуальная аналитическая система работает по алгоритму, представленному на рисунке 4.

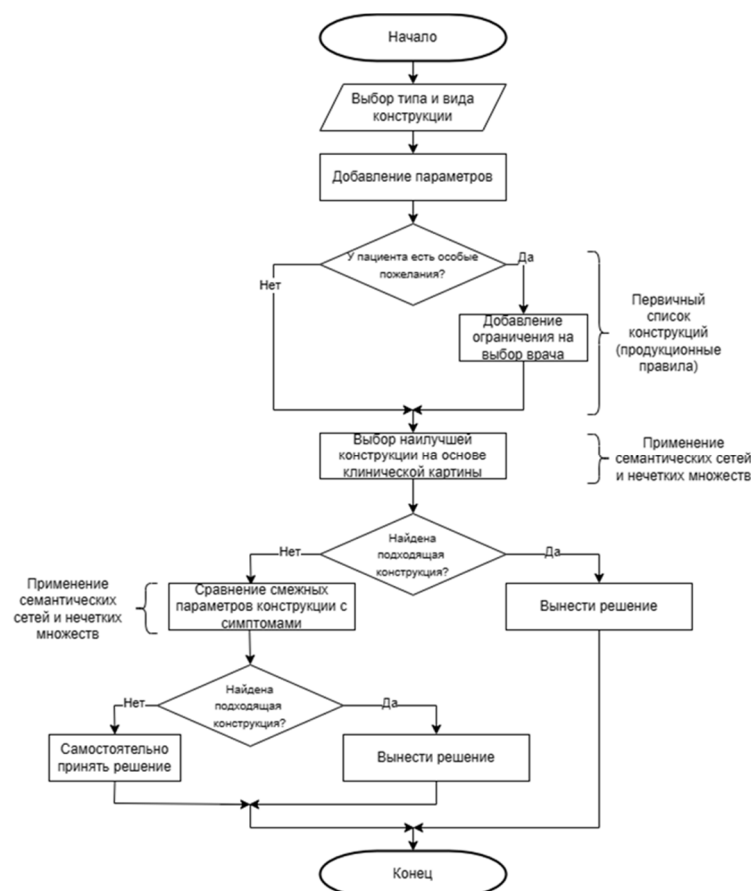


Рисунок 4 – Фрагмент алгоритма работы системы
Figure 4 – A fragment of the algorithm

Интерфейс системы представлен на рисунках 5 – 8.

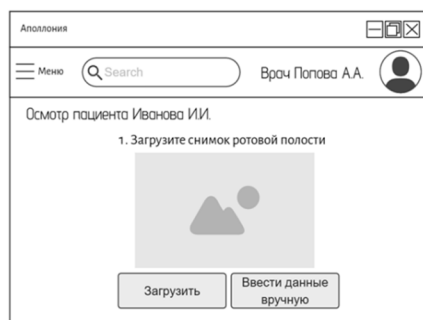


Рисунок 5 – 1-й этап осмотра пациента
Figure 5 – 1st step of examination of the patient

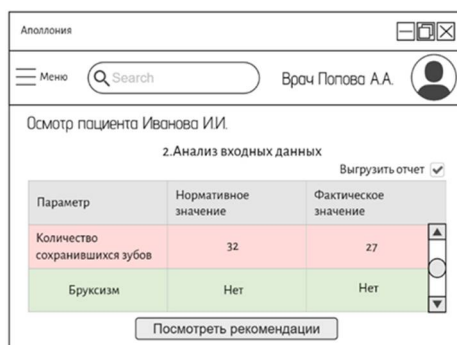


Рисунок 6 – 2-й этап осмотра пациента
Figure 6 – 2nd step of examination of the patient

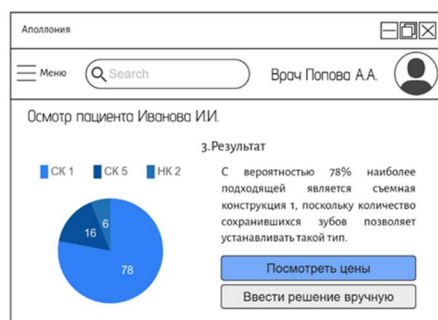


Рисунок 7 – Предоставление и обоснование решения
Figure 7 – Provision and justification of the decision

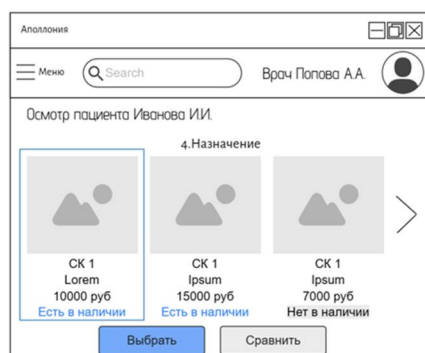


Рисунок 8 – Финальное принятие решения
Figure 8 – Final decision making

Заключение

Представление результатов:

- разработана интеллектуальная аналитическая система Аполлония;
- сформирована база знаний для поддержки принятия управленческих решений;

- предложен метод формирования семантической сети в вопросах принятия управленческих решений для рекомендаций по выбору подходящих структур;
- разработана и обучена нейронная сеть для генерации входных данных клинической картины после сбора анамнеза пациента в соответствии с текущей ситуацией;
- разработана структура базы знаний для хранения данных клинической картины;
- разработана методология и общая схема формирования систем рекомендаций в вопросах управления и поддержки принятия решений по выбору протезных конструкций.

Системы поддержки принятия управленческих решений в настоящее время являются одной из наиболее востребованных систем в медицине. Важно понимать, что СППР решают не только общие терапевтические вопросы, но и оказывают поддержку узким специалистам [24]. Разработка систем Аполлония для конкретных клинических ситуаций может значительно повысить качество диагностики.

Библиографический список

1. **Ларентзакис А., Лигерос Н.** Искусственный интеллект (ИИ) в медицине как стратегически ценный инструмент. *Ran Afr Med J.* 2021 17 февраля;38:184. doi: 10.11604/ramj.2021.38.184.28197. PMID: 33995790; PMCID: PMC8106796.
2. **Чернякина Д.С.** Системы поддержки принятия решений в медицине: обзор достижений и перспектив в этой области исследований // В сборнике: НАУКА. Технологии. инновация. XV Всероссийская научная конференция молодых ученых, посвященная Году науки и технологий в России: Сб. науч. тр. в 10 частях. Новосибирск, 2021. С. 186–189.
3. **Курдюмов Д.А., Кашин А.В., Рябов Н.Ю., Новицкий Р.Е., Гусев А.В.** Опыт использования технологий искусственного интеллекта для развития профилактического здравоохранения на примере Кировской области. *Менеджер по охране здоровья.* 2023; 6:62-69. DOI: 10.21045/1811-0185-2023-6-62-69. Быховский М.Л., Вишневский А.А. Кибернетические системы в медицине. – М.: Наука, 1971. 234 с.
4. **Крошилин А. В.** Предметно-ориентированные информационные системы / А. В. Крошилин, С. В. Крошилина, Г. В. Овечкин. М.: Изд-во "КУРС", 2023. 176 с. ISBN 978-5-907535-96-1. EDN XBPJW.
5. **Астахова Н.В., Ермолаева Е.О.** Применение метода "Дерева решений" в медицине // Сборник тезисов докладов VIII Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Том 2. Под общей редакцией А. Ю. Просекова. Кемерово, 2020.
6. **Жулев В.И., Крошилин А.В., Крошилина С.В.** Проектирование систем поддержки принятия решений. Учебное пособие для вузов. М.: Горячая линия – Телеком, 2023. – 180 с.
7. **Попова А.А.** Бизнес-процессы делегирования полномочий в организационных системах // Новые информационные технологии в научных исследованиях: материалы XXVIII Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов. РГПТУ им. В.Ф. Уткина, 2023. 197 с. (с. 61-62)
8. **Ovechkin G.V.** Managerial medical decisions and methods of obtaining medical information in conditions of uncertainty / A. V. Kroshilin, A. N. Pytkin, S. V. Kroshilina, G. V. Ovechkin // 2021 10th Mediterranean Conference on Embedded Computing, MECO 2021: 10, Budva, 07–10 июня 2021 года. – Budva, 2021. P. 9460299. DOI 10.1109/MECO52532.2021.9460299. EDN KQPIAF.
9. **Поляков М.В.** Интеллектуальный анализ данных в медицине: учебное пособие / Поляков М.В. М.: Ай Пи Ар Медиа, 2023. — 85 с. — ISBN 978-5-4497-2104-4. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. – URL: <url> <https://www.iprbookshop.ru/130525.html> (дата подачи заявления: 29.04.2024)
10. **Быховский М.Л., Вишневский А.А.** Кибернетические системы в медицине. М.: Наука, 1971. – 234 с.
11. **Крошилина С.В.** Регулирование материальных потоков в интеллектуальных системах управления / А. В. Крошилин, С. В. Крошилина, А. Н. Пылькин // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2013, № 43. С. 100-105. EDN PXHRVV.
12. **Кубегенова А.Д., Иксебаева Ж.С., Кубегенов Е.С.** Методы интеллектуального анализа и применение технологии интеллектуального анализа данных в области медицины // Инновационные научные исследования. 2021. № 8-1 (10). С. 48-55.
13. **Крошилина С.В.** Поддержка принятия управленческих медицинских решений и природа неопределенности в них / С. Ю. Жулева, А. В. Крошилин, С. В. Крошилина // Биомедицинская радиоэлектроника. 2021. Т. 24. № 4. С. 89–96. DOI 10.18127/j15604136-202104-12. EDN IVGGSX.

14. **Мокина Е.Е., Марухина О.В., Шагарова М.Д., Дубинина И.А.**, Использование методов интеллектуального анализа данных при принятии медицинских диагностических решений. [Текст] // Фундаментальные исследования. 2016. № 5-2.
15. **Крошилина А.А.** Актуальность применения интеллектуальных систем при решении задач удаленного медицинского обслуживания // Новые информационные технологии в научных исследованиях: материалы XXVII Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов; Рязань: ИП Коняхин А.В. (Book Jet), 2022. 166 с., с. 25-26.
16. **Жулев В.И.** Формирование знаний и структура медицинской экспертной системы / В. И. Жулев, А. В. Крошилин, С. В. Крошилина // Биомедицинская радиоэлектроника. 2023. Т. 26. № 3. С. 44–54. DOI 10.18127/j15604136-202303-06. EDN MMUATE.
17. **Жулева С.Ю.** Представление знаний на основе теории нечетких множеств в медицинских предметных областях / С. Ю. Жулева, А. В. Крошилин, С. В. Крошилина // Биомедицинская радиоэлектроника. 2022. Т. 25. № 4. С. 62-70. DOI 10.18127/j15604136-202204-08. EDN RYOADT.
18. **Крошилина А.А.** Интеллектуальная система медицинского удаленного обслуживания // IT OPEN 2022: Материалы II регионального конкурса студенческих научно-исследовательских работ в области информационных и вычислительных технологий: РГРТУ им. В.Ф. Уткина, 2022 – Рязань. 302 с., с. 151-158.
19. **Кудинов Ю.И., Кудинов И.Ю.** Нечеткое моделирование и кластеризация // Проблемы управления. 2008. № 6. С. 2-10.
20. **Савельев Д.М., Шестопалов М.Ю.** Методология обобщенной оценки качества разбивки данных на кластеры // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2011. № 197. С. 201-212.
21. **Гермашев И.В., Дубовская В.И.** Применение нечетких математических моделей для решения задач медицинской диагностики // Математическая физика и компьютерное моделирование. 2021. Том 24. № 4. С. 53-66.
22. **Крошилин А.В.** Учет качества разбиения при использовании модифицированного алгоритма нечеткой кластеризации исследуемых данных и методика ее построения / А. Н. Пылькин, К. А. Майков, А. В. Крошилин, А. М. Белицкий // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2016. № 58. С. 57-63. DOI 10.21667/1995-4565-2016-58-4-57-63. EDN XRFDPB.
23. **Пылькин А.Н.** Построение медицинских экспертных систем сопровождения медико-технологического процесса / А. Н. Пылькин, А. В. Крошилин, С. В. Крошилина, Д. Х. Доан // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2017. № 60. С. 123-130. – DOI 10.21667/1995-4565-2017-60-2-123-130. – EDN YSRVGN.
24. **Демушкина К.М., Демушкин М.О., Кузьмин А.В.** Обзор методов проектирования систем поддержки принятия медицинских решений // Модели, системы и сети в экономике, технологиях, природе и обществе. 2022. № 2 (42). С. 75-89.

UDC 004.822, 004.827

COMPUTER MODELING OF DECISION SUPPORT PROCESSES FOR A DENTIST BASED ON SEMANTIC NETWORKS

A. V. Kroshilin, Dr. Sc. (Tech.), full professor, RSREU, Ryazan, Russia;

orcid.org/0009-0007-0044-6570, e-mail: av_kroshilin@mail.ru

S. V. Kroshilina, Ph.D. (Tech.), professor, RSREU, Ryazan, Russia;

orcid.org/0009-0009-0067-1115, e-mail: kroshilina_rzn@mail.ru

D. A. Perepelkin, Dr. Sc. (Tech.), full professor, RSREU, Ryazan, Russia;

orcid.org/0000-0003-4775-5745, e-mail: perepelkin.d.a@rsreu.ru

A. A. Popova, Senior Development Engineer, Department «Technologies» PJSC Sberbank, Ryazan, Russia;
0000-0002-7166-3974, e-mail: popova.anni@mail.ru

The use of modern technologies can allow dentists to manage their practice more effectively. In daily management tasks, a specialist often has to evaluate hypotheses about which there is incomplete or insufficient information. Due to the complexity of accurate estimates under conditions of uncertainty, it becomes

necessary for the decision-maker to justify the choice of a single option from a variety of suitable ones. When designing an organizational system that includes analytical information system, it is necessary to take into account the presence of some doubts about the clarity of symptoms of a particular disease. At the same time, uncertainty about the presence of specific disease in a patient persists even when all its symptoms are clearly expressed.

Information and mathematical support of the proposed decision support system designed to control the process of choosing a dental treatment option is based on semantic networks, fuzzy set theory, system analysis, decision support theory, management theory in organizational systems.

Dentist enters clinical picture data into the program after examining the oral cavity: the number of preserved teeth, IROPSIS, carious cavities according to Black, bruxism, allergeoanamnesis, vitality, dental mobility, hygienic index, etc. In addition, clinical conditions such as input data are used, which lead the doctor to the best variant of functional design. The output data are management decision (type of removable or non-removable orthopedic rehabilitation option) and recommendations for treatment regimen.

The aim of the work is mathematical and computer modeling of management decision-making processes of a dentist using the theory of semantic networks.

Keywords: intelligent analytical system, semantic networks, fuzzy sets, management in organizational systems, decision support theory, production rules.

DOI: 10.21667/1995-4565-2024-89-127-140

References

1. **Larentzakis A., Ligeros N.** Iskusstvennyj intellekt (II) v medicine kak strategicheskij cennyy instrument. Pan Afr Med J. 2021 17 fevralya; 38:184. doi: 10.11604/pamj.2021.38.184.28197. PMID: 33995790; PMCID: PMC8106796
2. **CHernyakina D.S.** Sistemy podderzhki prinyatiya reshenij v medicine: obzor dostizhenij i perspektiv v etoj oblasti issledovanij. V sbornike: *NAUKA. Tekhnologii. innovaciya. XV Vserossijskaya nauchnaya konferenciya molodyh uchenyh, posvyashchennaya Godu nauki i tekhnologii v Rossii: Sbornik nauchnyh trudov v 10 chastyah*. Novosibirsk, 2021, pp. 186–189. (in Russian).
3. **Kurdyumov D.A., Kashin A.V., Ryabov N.YU., Novickij R.E., Gusev A.V.** Opyt ispol'zovaniya tekhnologij iskusstvennogo intellekta dlya razvitiya profilakticheskogo zdravooohraneniya na primere Kirovskoj oblasti. *Menedzher po ohrane zdorov'ya*. 2023; 6:62-69. DOI: 10.21045/1811-0185-2023-6-62-69 Byhovskij M.L., Vishnevskij A.A. Kiberneticheskie sistemy v medicine. – M.: Nauka, 1971. – 234 p.
4. **Kroshilin A.V.** Predmetno-orientirovannye informacionnye sistemy / A. V. Kroshilin, S. V. Kroshilina, G. V. Ovechkin. – Moskva : Obshchestvo s ogranichennoj otvetstvennost'yu Izdatel'stvo "KURS", 2023. 176 p. ISBN 978-5-907535-96-1. EDN XBPJIW.
5. **Astahova N.V., Ermolaeva E.O.** Primenenie metoda "Dereva reshenij" v medicine. *Sbornik tezisov dokladov VIII Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii studentov, aspirantov i molodyh uchenyh*. Tom 2. pod obshchej redakciej A. YU. Prosekov. Kemerovo, 2020.
6. **ZHulev V.I., Kroshilin A.V., Kroshilina S.V.** Proektirovanie sistem podderzhki prinyatiya reshenij. Uchebnoe posobie dlya vuzov. –M.: Goryachaya liniya – Telekom, 2023. 180 p.
7. **Popova A.A.** Biznes-processy delegirovaniya polnomochij v organizacionnyh sistemah. *Novye informacionnye tekhnologii v nauchnyh issledovaniyah: materialy XHVIII Vserossijskoj nauchno-tekhnicheskoj konferencii studentov, molodyh uchenyh i specialistov*. RGRU im. V.F. Utkina., 2023, pp. 61-62.
8. **Ovechkin G.V.** Managerial medical decisions and methods of obtaining medical information in conditions of uncertainty / A. V. Kroshilin, A. N. Pylkin, S. V. Kroshilina, G. V. Ovechkin. 2021 10th Mediterranean Conference on Embedded Computing, MECO 2021 : 10, Budva, 07–10 iyunya 2021 goda. – Budva, 2021. P. 9460299. DOI 10.1109/MECO52532.2021.9460299. EDN KQPIAF.
9. **Polyakov M.V.** Intellektual'nyj analiz dannyh v medicine : uchebnoe posobie / Polyakov M.V. – M.: AJ Pi Ar Media, 2023. 85 p. ISBN 978-5-4497-2104-4. Tekst: elektronnyj . Cifrovoj obrazovatel'nyj resurs IPR SMART: [sajt]. — URL: <url> <https://www.iprbookshop.ru/130525.html> (data podachi zayavleniya: 29.04.2024)
10. **Byhovskij M.L., Vishnevskij A.A.** Kiberneticheskie sistemy v medicine. M.: Nauka, 1971. 234 p.
11. **Kroshilina S.V.** Regulirovanie material'nyh potokov v intellektual'nyh sistemah upravleniya .A. V. Kroshilin, S. V. Kroshilina, A. N. Pyl'kin. *Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo radiotekhnicheskogo universiteta*. 2013, no. 43, pp. 100-105. (in Russian). EDN PXHRVV.

12. **Kubegenova A.D., Iksebaeva ZH.S., Kubegenov E.S.** Metody intellektual'nogo analiza i primeneniye tekhnologii intellektual'nogo analiza dannyh v oblasti mediciny. *Innovacionnye nauchnye issledovaniya*. 2021, no. 8-1 (10), pp. 48-55.
13. **Kroshilina S.V.** Podderzhka prinyatiya upravlencheskih medicinskih reshenij i priroda neopredelennosti v nih .S. YU. ZHuleva, A. V. Kroshilin, S. V. Kroshilina. *Biomedicinskaya radioelektronika*. 2021, vol. 24, no. 4, pp. 89-96. DOI 10.18127/j15604136-202104-12. EDN IVGGSX.
14. Ispol'zovanie metodov intellektual'nogo analiza dannyh pri prinyatii medicinskih diagnosticheskikh reshenij. [Tekst] / E.E. Mokina, O.V. Maruhina, M.D. SHagarova, I.A. Dubinina. *Fundamental'nye issledovaniya*. 2016, no. 5-2.
15. **Kroshilina A.A.** Aktual'nost' primeneniya intellektual'nyh sistem pri reshenii zadach udalennogo medicinskogo obsluzhivaniya. *Novye informacionnye tekhnologii v nauchnyh issledovaniyah: materialy XXVII Vserossiyskoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii studentov, molodyh uchenykh i specialistov*; Ryazan': IP Konyahin A.V. (Book Jet), 2022, pp. 25-26.
16. **ZHulev V.I.** Formirovaniye znaniy i struktura medicinskoj ekspertnoj sistemy. V.I. ZHulev, A.V. Kroshilin, S.V. Kroshilina. *Biomedicinskaya radioelektronika*. 2023, vol. 26, no 3, pp. 44-54. DOI 10.18127/j15604136-202303-06. EDN MMUATE.
17. **ZHuleva S.YU.** Predstavleniye znaniy na osnove teorii nechetkikh mnozhestv v medicinskih predmetnykh oblastyakh. S. YU. ZHuleva, A. V. Kroshilin, S. V. Kroshilina. *Biomedicinskaya radioelektronika*. 2022, vol. 25, no. 4, pp. 62-70. DOI 10.18127/j15604136-202204-08. EDN RYOADT.
18. **Kroshilina A.A.** Intellektual'naya sistema medicinskogo udalennogo obsluzhivaniya. IT OPEN 2022: *Materialy II regional'nogo konkursa studencheskikh nauchno-issledovatel'skikh rabot v oblasti informacionnykh i vychislitel'nykh tekhnologiy: RGRTU im. V.F. Utkina*, 2022. Ryazan, pp. 151-158.
19. **Kudinov YU.I., Kudinov I.YU.** Nechetkoe modelirovaniye i klasterizatsiya. *Problemy upravleniya*. 2008, no. 6, pp. 2-10.
20. **Savel'ev D.M., SHestopalov M. YU.** Metodologiya obobshchennoj ocenki kachestva razbivki dannykh na klastery. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii*. 2011, no. 197, pp. 201–212.
21. **Germashev I.V.** Dubovskaya V.I. Primeneniye nechetkikh matematicheskikh modelej dlya resheniya zadach medicinskoj diagnostiki . *Matematicheskaya fizika i komp'yuternoe modelirovaniye*. 2021, vol. 24, no. 4, pp. 53-66.
22. **Kroshilin A.V.** Uchet kachestva razbieniya pri ispol'zovanii modificirovannogo algoritma nechetkoj klasterizatsii issleduemykh dannyh i metodika ee postroeniya / A. N. Pyl'kin, K. A. Majkov, A. V. Kroshilin, A. M. Belickij . *Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo radiotekhnicheskogo universiteta*. 2016, no. 58, pp. 57-63. DOI 10.21667/1995-4565-2016-58-4-57-63. (in Russia). – EDN XRFDPDB.
23. **Pyl'kin A.N.** Postroeniye medicinskih ekspertnykh sistem soprovozhdeniya mediko-tekhnologicheskogo processa .A. N. Pyl'kin, A. V. Kroshilin, S. V. Kroshilina, D. H. Doan. *Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo radiotekhnicheskogo universiteta*. 2017, no. 60, pp. 123-130. DOI 10.21667/1995-4565-2017-60-2-123-130. (in Russia). – EDN YSRVGN.
24. **Demushkina K.M., Demushkin M.O., Kuz'min A.V.** Obzor metodov proektirovaniya sistem podderzhki prinyatiya medicinskih reshenij. *Modeli, sistemy i seti v ekonomike, tekhnologiyah, prirode i obshchestve*. 2022, no. 42, pp. 75-89.