

the formed team may be insufficient. Most often, heterogeneous data is required for decision-making. The article provides arguments in favor of the fact that the methodology of the theory of fuzzy sets can be used in solving issues of assessing various qualities of personnel and will allow making rational managerial decisions in the process of staffing. It allows you to take into account uncertainties and subjective factors when assessing the level of knowledge and skills of employees and create more accurate and multidimensional competency models that include both objective indicators and expert assessments. These models can be used in information and analytical management decision support systems for staffing.

Keywords: decision support, recruitment of production personnel, digital competence model, efficiency of the production process, theory of fuzzy sets.

Поступила в редакцию/received: 15.08.2025; после рецензирования/revised: 14.08.2025;
принята/accepted: 28.08.2025

УДК 004.891.3

DOI: 10.46573/2658-5030-2025-4-98-106

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ДИАГНОСТИКЕ ЗАБОЛЕВАНИЙ СЛИЗИСТОЙ ОБОЛОЧКИ ПОЛОСТИ РТА

Г.Б. БУРДО¹, д-р техн. наук, С.Н. ЛЕБЕДЕВ², д-р мед. наук,
Ю.В. ЛЕБЕДЕВА², канд. мед. наук, И.С. ЛЕБЕДЕВ², ординатор

¹ Тверской государственный технический университет,
170026, Тверь, наб. Аф. Никитина, 22, e-mail: gbtms@yandex.ru

² Тверской государственный медицинский университет,
170100, Тверь, ул. Советская, 4, e-mail: lebedev_s@tvergma.ru

© Бурдо Г.Б., Лебедев С.Н., Лебедева Ю.В., Лебедев И.С., 2025

В статье обобщены результаты работы по созданию интеллектуальных средств поддержки принятия решений для диагностики предраковых заболеваний и опухолей слизистой оболочки полости рта. Актуальность исследования обусловлена необходимостью повышения качества оказания первичной медико-санитарной помощи пациентам с такими заболеваниями. Целью работы является анализ разработанных авторами методик поддержки принятия решений при диагностике опухолевых заболеваний слизистой оболочки полости рта с помощью интеллектуальных экспертных систем. Рассмотрены три типа методик создания диагностических интеллектуальных экспертных систем для выявления опухолевых заболеваний слизистой оболочки полости рта: экспертные системы, основанные на весовых коэффициентах, экспертные системы индивидуальной поддержки решений на основе интеллектуальных моделей и экспертные системы коллективной поддержки решений на основе интеллектуальных моделей. В основу разработок положен обобщенный опыт практикующих врачей. Кратко охарактеризованы подходы к разработке экспертных систем.

Ключевые слова: новообразования, слизистая оболочка рта, поддержка принятия решений, экспертные системы, нечеткие множества, искусственный интеллект, производственные модели знаний.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время происходит внедрение средств вычислительной техники в различные сферы человеческой деятельности. В связи с этим открываются принципиально новые возможности использования программных средств в медицине для анализа наборов данных, в качестве систем, минимизирующих ошибки врачей при установлении диагноза [1–3]. Важность систем поддержки принятия решений в медицине особенно важна для врачей, не имеющих достаточного опыта работы и сомневающихся в диагнозе.

Автоматизированные системы с элементами искусственного интеллекта важны и перспективны с точки зрения возможности интеграции компетенций врачей с базами знаний программных средств. В первую очередь это относится к экспертным системам (ЭС) поддержки принятия решений в различных отраслях медицины [3–6].

Широкое распространение получают ЭС, интегрированные в системы информатизации и управления деятельностью медицинских учреждений по профилю стоматологии, челюстно-лицевой хирургии и оториноларингологии [6–9].

Реализация информационных продуктов в медицинских учреждениях выявила наличие ряда проблемных аспектов, сдерживающих широкое применение ЭС в клинической практике. Наиболее существенными из них являются следующие:

попытка сделать врача «придатком» компьютера, что весьма негативно сказывается на качестве диагностики и профессиональном росте врачей;

отсутствие гибкости при обновлении баз знаний;

необходимость наличия у врачей специальных знаний в области вычислительной техники;

высокая стоимость ЭС;

отсутствие возможности переноса ЭС в другую сферу медицины.

Указанные недостатки присущи и тем ЭС, которые предназначены для диагностики предраковых и воспалительных заболеваний слизистой оболочки полости рта и носа.

Можно констатировать, что внедрение данных программных продуктов во врачебную практику актуально и востребовано [2, 3, 8]. В настоящей статье обобщен опыт создания ЭС, не имеющих перечисленных выше недостатков.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОБСУЖДЕНИЕ

У разработчиков ЭС вполне естественным образом возникает желание привлечь к их созданию лучших специалистов в данной области. Эта задача не всегда выполнима в связи с большой занятостью таких специалистов, тем более что взаимодействие с ними должно проходить в режиме прямого контакта. Выходом из этой ситуации является привлечение несколько большего числа экспертов (как правило, 5–7) выше среднего уровня.

Экспертные системы, основанные на весовых коэффициентах

Суть предлагаемых ЭС 1-го типа состоит в том, что результат анализа диагностических признаков представляется суммой их весов в диапазоне от 0 до 1, а далее дается комментарий к оценке. Последовательность создания таких систем описана в [10, 11].

К врачам экспертам, привлекаемым для создания ЭС, должны предъявляться определенные требования [11]. Возможен и более серьезный подбор экспертов, например по методу «Дельфи» [12, 13], но он отличается трудоемкостью и сложностью.

На первом этапе врачами-экспертами на основе изучения врачебных методик и опыта работы все диагностические признаки разбивались на группы. Группы признаков выбирались из соображения их предположительно наибольшего влияния на постановку диагноза.

На втором этапе определялась структура диагностических параметров в каждой группе диагностических признаков.

На третьем этапе рассчитывался вес каждого диагностического параметра во всех диагностических группах как среднее арифметическое значение весов, присваемых данному параметру экспертами, с округлением до сотой. Величины весов путем нормализации приводились к случаю, когда их максимальная возможная сумма по всем четырем группам равнялась единице. Это упрощало результирующую оценку, так как вызывало ассоциацию с вероятностью события, имеющей пределы от 0 до 1.

На четвертом этапе определялись градации вероятности заболевания (комментарий) исходя из суммарных весов имеющихся признаков по всем четырем группам, что показано в табл. 1 на примере диагностики новообразований слизистой оболочки полости рта.

Таблица 1. Градации вероятности заболевания на основании суммарных весов диагностических параметров

| Суммарные уровни весов диагностических параметров | Значение суммарное весов | Комментарий к результатам |
|---|--------------------------|---|
| 1 | $K \leq 0,39$ | Низкий риск. Рекомендуется симптоматическое и/или специализированное лечение у стоматолога и/или повторное обследование через две недели |
| ... | | |
| 3 | $K > 0,49$ | Риск наличия злокачественной опухоли / озлокачествления неопухолевого очага полости рта или губы считается высоким, обследуемый нуждается в осмотре врача-онкологом, показана гистологическая верификация (биопсия) из очага поражения и симптоматическое лечение до получения заключения |

Работа врача с системой заключается в указании имеющихся параметров с помощью меню. Результаты будут выдаваться в виде соответствующего комментария (см. табл. 1).

Основными достоинствами метода являются:

- 1) понятные параметры диагностики;
- 2) возможность использования врачами неонкологического профиля;
- 3) понятность и простота реализации методики;
- 4) дешевизна разработки;
- 5) удобство модернизации;
- 5) возможность использовать ЭС на любом рабочем месте.

Главный недостаток рассмотренной ЭС – «механический», упрощенный подход к определению весов параметров, не учитывающий возможности интеллектуальных моделей знаний.

Экспертные системы индивидуальной поддержки принятия решений на основе интеллектуальных моделей

Суть предлагаемого метода (ЭС 2-го типа) состоит в том, что на основе продукционной базы данных и нечеткой логики синтезируется интегрированное заключение по диагнозу [14, 15].

На **первом этапе** все диагностические признаки разбивались на группы, состав которых аналогичен предшествующей методике. С учетом того, что группы рассматриваются по отдельности, **на втором этапе** всем группам параметров были присвоены веса, позволяющие привести параметры к единой системе отсчета [14].

На третьем этапе были установлены коэффициенты, характеризующие степень уверенности врачей в диагнозе на основании параметра. Сумма параметров принималась равной единице для удобства приведения всех групп параметров к единой системе отсчета.

Для примера веса параметров в одной из групп приведены в табл. 2.

Таблица 2. Веса параметров жалоб

| № | Структура параметров в жалобах пациента | Вес параметра жалобы S_j^i (i – номер параметра в j -й группе) |
|---|--|---|
| 1 | Боль в полости рта при глотании («пустой глоток») | 0,35 |
| 2 | Ощущение инородного тела в полости рта | 0,1 |
| 3 | Дискомфорт в полости рта | 0,1 |
| 4 | Ощущение жжения языка | 0,1 |
| 5 | Нерезкие болевые ощущения в области региональных лимфатических узлов и их увеличение | 0,2 |
| 6 | Слабость | 0,05 |
| 7 | Боль в сердце | 0,05 |
| 8 | Затрудненное носовое дыхание | 0,05 |

На четвертом этапе выполнялось приведение параметров каждой группы путем введения коэффициента значимости определенной группы параметров $A_j = P_j \times (\sum S_j^i)$, где P_j вес параметров группы.

На пятом этапе формировалась модель [15] позволяющая оценить степень подтверждаемости диагноза и выбора тактики ведения пациента на основе четырех групп параметров диагностики с использованием продукционных баз знаний и теории нечетких множеств [7–16].

Продукционная база знаний имеет вид:

ЕСЛИ значимость первой группы параметров A_1 **И ЕСЛИ** значимость второй группы параметров A_2 **И ЕСЛИ** значимость третьей группы параметров A_3 **И ЕСЛИ** значимость четвертой группы параметров A_4 **ТО** степень уверенности в диагнозе равна B_k (A_j и B_k – лингвистические переменные, имеющие три и пять термов соответственно).

Продукционная база знаний состоит из 71 правила, работа моделей осуществляется в среде MATLAB [17].

Были установлены граничные точки, определяющие степень подтверждённости диагноза на основе взвешенной оценки по аналогии с табл. 2.

Достоинствами методики являются применение привычной медицинской терминологии; возможность использования ее обычным врачом; входные и выходные параметры задаются в удобном для пользователей мнемоническом виде, в диапазоне 0–1.

Экспертные системы коллективной поддержки принятия решений на основе интеллектуальных моделей

Суть методики (ЭС 3-го типа) состоит в том, что лечащий врач договаривается с двумя-тремя врачами – специалистами в данной области об их участии в диагностике [9]. Им рассыпается заполненная лечащим врачом анкета, в которой отображены выявленные им параметры симптоматики. При необходимости уточнения информации назначается онлайн-консилиум с участием пациента.

В последующем врачи, участвующие в диагностике, оценивают степень своей уверенности в наличии заболевания на основании заполненной лечащим врачом формы и результатов консилиума по непрерывной шкале от 0 до 1, где 1 – абсолютно уверен в наличии заболевания, 0 – абсолютно уверен в отсутствии заболевания.

Выполняется расчет по модели взвешенной оценки врачей, и дается ее интерпретация.

На первом этапе создания системы разрабатывалась форма анкеты путем объединения параметров диагностики по всем группам (табл. 3).

Таблица 3. Образец формы анкеты
(на примере заболеваний слизистой оболочки полости рта)

| Группа | Показатели на основании жалоб и изучения истории болезни пациента | (да + / нет –) |
|----------|--|----------------|
| Группа 1 | | |
| 1 | Боль в полости рта при глотании («пустой глоток») | – |
| 2 | Ощущение инородного тела в полости рта | – |
| | | |
| 7 | Боль в сердце | – |
| 8 | Затрудненное носовое дыхание | – |
| Группа 2 | Показатели на основе данных осмотра | (да + / нет –) |
| 1 | Ощущение боли, зуда, жжения в области патологического очага (очагов) | – |
| 2 | Обильное слюнотечение | – |
| | | |
| 8 | Поверхность очага (очагов) плотная и / или имеет инфильтрирующее основание | – |

Окончание табл. 3

| Группа | Показатели на основании жалоб и изучения истории болезни пациента | (да + / нет –) |
|----------|---|----------------|
| Группа 3 | | (да + / нет –) |
| Группа 4 | Показатели на основе анамнестических признаков | (да + / нет –) |
| 1 | Существование патологии слизистой оболочки полости рта и губы в течение трех и более месяцев | – |
| 2 | Связь появления патологического очага с однократной острой и/или длительной локальной травмой слизистой оболочки полости рта и губы | – |
| | | |
| 6 | Стаж курения до 10 лет | – |

На втором этапе разрабатывалась продукционная база знаний для определения результирующего мнения врачей, участвующих в консилиуме. Формальная запись подусловий и вывода в продукционной модели имела следующий вид:

ЕСЛИ степень уверенности первого врача A_1 **И** степень уверенности второго врача A_2 **И** степень уверенности третьего врача A_3 **ТО** степень подтвержденности диагноза равна B_j . В данном выражении A_i и B_j являются лингвистическими переменными.

Для лингвистической переменной A_i предложено три терма: низкая, средняя и высокая степень уверенности в диагнозе.

Для лингвистической переменной B_j предложено пять термов (применительно к степени подтвержденности диагноза): весьма низкая, низкая, сомнительная, высокая, весьма высокая. В модели имеется 21 правило.

На третьем этапе определялись граничные точки степени уверенности экспертов и комментарии к ним. В первом приближении можно использовать граничные точки аналогично второй методике.

Достоинство третьей методики заключается в объединении знаний и опыта нескольких врачей (консилиум) и экспертов, участвующих в разработке системы, что повышает точность диагностики. Как положительный момент можно также отметить простоту и удобство работы с системой, не требующей специальных знаний. Кроме того, методика позволяет привлекать к консилиуму врачей дистанционно.

Сравнение параметров экспертных систем

Было установлено, что наибольший интерес для разработчиков и пользователей ЭС имеют такие их параметры, как трудоемкость создания, точность (подтверждаемость) установления диагноза, необходимость наличия дополнительных программных продуктов, длительность процедур установления диагноза (динамика системы), сложность обновления баз данных и баз знаний, необходимость и длительность обучения врачей работе с системой, стоимость создания, область применения, возможность и сложность переноса системы на другую область. В табл. 4 приведен сравнительный анализ трех рассмотренных типов ЭС по данным параметрам. Для удобства часть характеристик представлена в относительном виде, при этом за точку отсчета взята система первого типа. Можно отметить, что описанные типы ЭС обеспечивают потребности основных видов медицинских учреждений, так как не требуют длительного обучения врачей и наличия у них дополнительных знаний в области вычислительной техники.

Таблица 4. Характеристики ЭС различных типов

| Сравниваемый параметр | Типы ЭС | | |
|---|---|---|---|
| | Тип 1 | Тип 2 | Тип 3 |
| Трудоемкость создания | 1,0 | 1,6 | 2,1 |
| Точность (подтверждаемость) установления диагноза (интервал установлен и расширен на основе апробации) | 65...70 % | 75...85 % | 80...90 % |
| Необходимость наличия дополнительных программных продуктов | Нет | Да | Да |
| Длительность процедур установления диагноза (динамичность системы) | 1,0 | 1,2 | 1,2 |
| Сложность обновления баз данных и баз знаний | 1,0 | 2,5 | 3,0 |
| Необходимость обучения врачей работе с системой | Нет | Нет | Нет |
| Стоимость создания | 1,0 | 1,9 (2,5*) | 2,1 (2,8*) |
| Область применения | Небольшие медицинские учреждения (поликлиники) | Медучреждения районного типа (средние мед- учреждения) | Средние и крупные медицинские учреждения |
| Возможность и сложность переноса системы на другую область | Да (1,0) | Да (1,8) | Да (2,2) |

* С учетом приобретения дополнительных программных продуктов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, предложенные методики создания различных по сложности диагностических ЭС покрывают потребности и соответствуют возможностям большинства медицинских учреждений.

Рассмотренные ЭС можно отнести к системам «дополненной реальности», так как наряду с физическими объектами (пациентами) врач имеет дело с цифровыми данными, представляющими собой виртуальные знания экспертов. Описанные компьютерные системы прошли аprobацию, была продемонстрирована хорошая сходимость результатов.

Дальнейшим направлением указанной работы должна явиться разработка методики актуализации баз знаний, заложенных в указанные ЭС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Александрова О.Ю., Горенков Р.В., Васильева Т.П., Мелерзанов А.В., Дворина О.Г., Решетникова П.И., Якушин Д.М., Якушин М.А., Яроцкий С.Ю., Сошников С.С. Информатизация здравоохранения: от стандартов к экспертным системам // Врач и информационные технологии. 2020. № 2. С. 21–27.

2. Гусев А.В., Плисс М.А., Левин М.Б., Новицкий Р.Э. Тренды и прогнозы развития медицинских информационных систем в России // *Врач и информационные технологии*. 2019. № 2. С. 38–49.
3. Карпов О.Э., Субботин С.А., Шишканов Д.В. Использование медицинских данных для создания систем поддержки принятия врачебных решений // *Врач и информационные технологии*. 2019. № 2. С. 11–18.
4. Боровская Е.В., Давыдова Н.А. Основы искусственного интеллекта: учебное пособие. 4-е изд., электрон. М.: Лаборатория знаний, 2020. 130 с.
5. Карпов О.Э., Андриков Д.А., Максименко В.А., Храмов А.Е. Прозрачный искусственный интеллект для медицины // *Врач и информационные технологии*. 2022. № 2. С. 4–11.
6. Бурдо Г.Б., Семенов Н.А., Лебедев С.Н., Лебедева Ю.В. Интеллектуальная поддержка принятия решений в экспертных системах при диагностике заболеваний полости рта // *Программные продукты и системы*. 2021. Т. 34. № 3. С. 484–488.
7. Портенко Г.М., Портенко Е.Г., Шматов Г.П., Фомина Е.Е. Дифференциальная диагностика форм ринита с применением метода машинного обучения RANDOM FOREST // *Проблемы стандартизации в здравоохранении*. 2024. № 1-2. С. 28–37.
8. Жулев Е.Н., Саакян М.Ю., Вельмакина И.В., Брагина О.М. Особенности ранней диагностики синдрома мышечно-суставной дисфункции височно-нижнечелюстного сустава с помощью экспертной компьютерной системы // *Институт стоматологии*. 2019. Т. 84. № 3. С. 72–74.
9. Портенко Е.Г., Бурдо Г.Б., Кузнецова В.С., Вашневская Н.А. Диагностика хламидийной инфекции при круглогодичном аллергическом рините с использованием медицинских экспертных систем // *Российская оториноларингология*. 2023. Т. 22. № 4 (125). С. 57–67.
10. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2019665803 РФ. Экспертная система скрининга онкопатологии ротовой полости «Онкостом-ВОП» / Лебедев С.Н., Лебедев И.С., Лебедева Ю.В. Заявл. 08.11.2019. Дата регистр. и опубл. 28.11.2019. Бюл. № 12.
11. Лебедев С.Н., Давыдов А.Б., Бурдо Г.Б. Основы применения экспертных систем искусственного интеллекта в ранней диагностике карциномы полости рта // *Верхневолжский медицинский журнал*. 2020. Т. 19. № 3. С. 27–29.
12. Hilbert M., Miles I., Othmer J. Foresight tools for participative policy-making in inter-governmental processes in developing countries: Lessons learned from the eLAC Policy Priorities Delphi // *Technological Forecasting and Social Change*. 2009. V. 76. № 7. P. 880–896.
13. Beiderbeck D., Frevel N., von der Gracht H.A., Schmidt S.L., Schweitzer V.M. Preparing, conducting, and analyzing Delphi surveys: Cross-disciplinary practices, new directions, and advancements // *MethodsX*. 2021. V. 8. P. 101401.
14. Бурдо Г.Б., Лебедев С.Н., Лебедев И.С., Лебедева Ю.В. Средства поддержки принятия решений при диагностике новообразований челюстно-лицевой области // *Врач и информационные технологии*. 2022. № 4. С. 40–51.
15. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2020620899 РФ. Комплекс производственных правил с алгоритмом работы в экспертной системе ранней диагностики карциномы полости рта / Лебедев С.Н. Заявл. 26.05.2020. Дата регистр. и опубл. 02.06.2020. Бюл. № 6.
16. Гавrilova Т.А., Хорошевский В.Ф. Базы знаний интеллектуальных систем. СПб.: Питер-пресс, 2016. 162 с.

17. Дьяконов В.П. MATLAB R2006/2007/2008 + Simulink 5/6/7. Основы применения. М.: СОЛОН-Пресс, 2008. 800 с.

Для цитирования: Бурдо Г.Б., Лебедев С.Н., Лебедева Ю.В., Лебедев И.С. Опыт применения экспертных систем поддержки принятия решений при диагностике заболеваний слизистой оболочки полости рта // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Технические науки». 2025. № 4 (28). С. 98–106.

THE EXPERIENCE OF USING EXPERT DECISION SUPPORT SYSTEMS IN THE DIAGNOSIS OF DISEASES OF THE ORAL MUCOSA

G.B. BURDO¹, Dr. Sc., S.N. LEBEDEV², Dr. Sc.,
Yu.V. LEBEDEVA², Cand. Sc., I.S. LEBEDEV², Resident

¹ Tver State Technical University,
22, Af. Nikitin emb., Tver, 170026, e-mail: gbtms@yandex.ru
² Tver State Medical University,
4, Sovetskaya str., Tver, 170100, e-mail: lebedev_s@tvergma.ru

The article summarizes the results of work on the creation of intelligent decision support tools for the diagnosis of precancerous diseases and tumors of the oral mucosa. The relevance of the study is due to the need to improve the quality of primary health care for patients with tumor diseases of the oral mucosa. The purpose of the work was to create an analysis of decision support methods developed by the authors in the diagnosis of tumor diseases of the oral mucosa using intelligent expert systems. The purpose of the work was to analyze three types (expert systems based on weighting coefficients, expert systems of individual decision support based on intelligent models, expert systems of collective decision support based on intelligent models) of developed methods for creating diagnostic intelligent expert systems for the detection of tumor diseases of the oral mucosa, based on the generalization of the experience of practicing physicians. The approaches to the development of expert systems are briefly described.

Keywords: neoplasms, oral mucosa, decision support, expert systems, fuzzy sets, artificial intelligence, knowledge production models.

Поступила в редакцию/received: 15.08.2025; после рецензирования/revised: 14.08.2025;
принята/accepted: 28.08.2025