

УДК 61:004+004.9
DOI 10.34822/1999-7604-2021-4-40-47

КОЛЛАБОРАТИВНАЯ СИСТЕМА СБОРА И ОБРАБОТКИ ФЛЕБОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ PHLEBOCLOUD

Н. Р. Урманцева ^{1✉}, В. А. Громов ²

¹ Сургутский государственный университет, Сургут, Россия

² Высшая школа экономики, Москва, Россия

✉ E-mail: nel-u@yandex.ru

Описана концепция медицинской информационной системы коллаборативной обработки флебологических данных на базе облачных технологий, рассмотрены особенности разработки и интеграции в контур системы подсистем сбора, подготовки, накопления медицинских данных (в частности, фотографий и снимков магнитно-резонансной томографии нижних конечностей пациентов) и их разметки, а также представлена разработка подсистемы поддержки принятия решений врача-флеболога. Предложен комплексный подход к интеллектуальной обработке медицинских данных при постановке правильного диагноза хронической венозной недостаточности.

Ключевые слова: медицинская информационная система, нейронные сети с физическими данными, система поддержки принятия решений, дерево принятия решений.

PHLEBOCLOUD – A COLLABORATIVE SYSTEM FOR COLLECTING AND PROCESSING OF PHLEBOLOGICAL DATA

N. R. Urmantseva ^{1✉}, V. A. Gromov ²

¹ Surgut State University, Surgut, Russia

² Higher School of Economics, Moscow, Russia

✉ E-mail: nel-u@yandex.ru

The concept of a medical information system for collaborative processing of phlebological data based on cloud technologies is described. The features of development and integration of the system of subsystems for collecting, preparing, accumulating of medical data (in particular, photographs and images of magnetic resonance imaging of the patients' lower limbs) into the contour and their markings are considered. The development of the decision support subsystem for a phlebologist is presented. A comprehensive approach for intelligent processing of medical data in the formulation of the correct diagnosis in chronic venous insufficiency is proposed.

Keywords: medical information systems, physics-informed neural networks, decision support system, decision tree.

Введение

Основные проблемы врачей-флебологов связаны с их загруженностью ввиду большого потока пациентов (время консультативного приема около 30 мин), а также трудностью постановки правильного диагноза при хронической венозной недостаточности (ХВЗ).

Поэтому целью данного исследования стало создание концепции медицинской информационной системы (МИС) коллаборативной обработки флебологических данных на базе облачных технологий, а также разработка на основе подсистем сбора, подготовки, накопления медицинских данных и их разметки (в частности, фотографий и снимков МРТ-исследований нижних конечностей пациентов) подсистемы поддержки принятия решений (ПСППР) врача-флеболога при постановке правильного диагноза на основе интеллектуальной обработки медицинских данных.

Косвенные аналоги МИС с интеллектуальным анализом данных реализуют различные модели поддержки принятия решений, например:

- Botkin.AI – математические модели для анализа медицинских изображений с использованием искусственного интеллекта [1];

- IBM Watson Patient Synopsis – подбор из электронных медицинских карт краткой сводной информации о пациентах для персонифицированной постановки диагноза [2];
- модуль Pathology Assistant системы Digital Pathology – дифференцирование диагноза на основании дерева принятия решений (ДПР), а также синтеза гистологического атласа и микроскопа [3].

Однако ни одна из них не может работать с флебологическими данными, поэтому для целей разработки концепции МИС коллаборативной обработки флебологических данных выбрано проектное решение модуля Pathology Assistant системы Digital Pathology, а именно постановка диагноза по классификации CEAP [4] на основании ДПР.

Материалы и методы

Перспективная МИС коллаборативной обработки флебологических данных PhleboCloud с надстройкой в виде системы интеллектуального анализа (рис. 1) состоит из следующих компонентов:

1. Файловое хранилище Azure File Storage для хранения фотографий и больших бинарных файлов.
2. SQL RDBMS (Relational Database Management System), PostgreSQL 13 – основное хранилище данных о пользователях, системе и пациентах.
3. Текстовая база данных (БД) – специализированное хранилище текстовых данных пациентов, используемое для оптимизации их обработки.
4. DICOM server (Orthanc Server) для хранения результатов МРТ-исследований пациентов в виде DICOM-снимков.
5. Система ETL-обработки медицинских данных.
6. Защищенное хранилище персональных данных.
7. Protege Ontology Server (онтологическое хранилище).
8. Power BI – локальный шлюз данных (gateway).
9. Датапроводы (Pipelines) машинного обучения.
10. Рекомендательная система.
11. Интерактивные отчеты.
12. Мобильный клиент для врачей или пациентов.
13. Промежуточное хранилище данных.

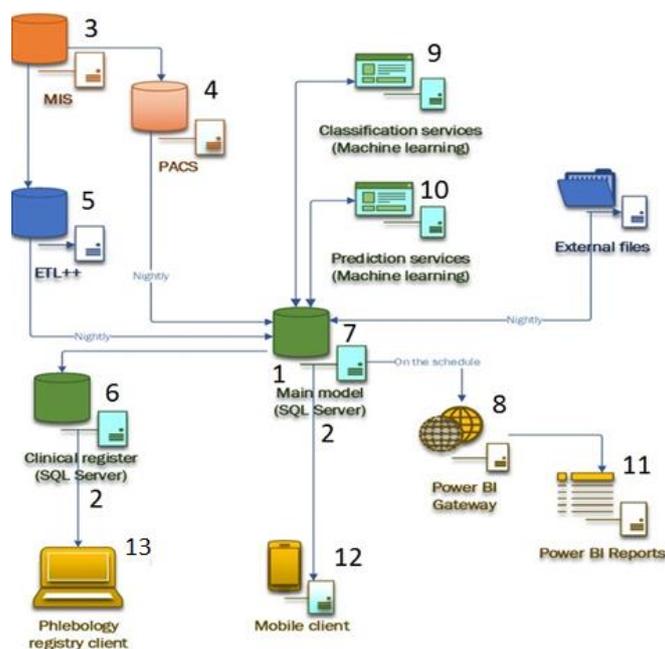


Рис. 1. Архитектура системы коллаборативной обработки флебологических данных

Примечание: разработано авторами.

Комплексный подход к коллаборативной обработке флебологических данных реализован по следующим этапам:

1. Поступающие о пациенте данные (анамнез, фотографии нижних конечностей и МРТ-исследование нижней полой вены (НПВ) и ее магистральных притоков) на начальном этапе работы системы проходят предварительную обработку: фотографиям ног должен быть поставлен в соответствие код клинического класса патологии СЕАР (C0–C6), на МРТ-исследованиях цветом должны быть выделены срезы НПВ и ее магистральных притоков.

2. Собранные данные хранятся в облачном хранилище, характеристики и возможности которого выбираются исходя из задач и материальных ресурсов заказчика.

3. Размеченные данные поступают на вход для обучения нейронной сети (НС), построенной на базе разработанной одним из авторов архитектуры Bifurcation-informed neural networks (BINNs) (рис. 2), которая, как нейронные сети с физическими данными Physics-informed neural networks (PINNs) (бифуркационным анализом уравнений гемодинамики венозной крови Навье – Стокса и деформации сосудистой стенки Фелпса – фон Кармана) [5–7], предположительно будет работать эффективнее обыкновенных сверточных НС.

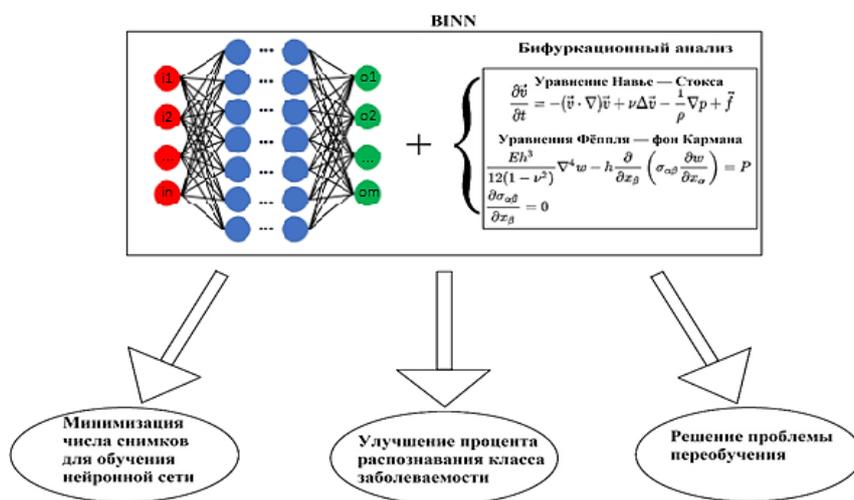


Рис. 2. Концепция Bifurcation-informed neural network BINNs

Примечание: разработано авторами.

4. По завершении обучения НС неразмеченные данные поступают на вход модуля интеллектуального анализа данных для распознавания класса патологии СЕАР и потенциальных причин данной патологии на МРТ-снимке пациента (например, синдрома Мея – Тернера).

5. ПСППР на основании жалоб пациента, результатов его визуального осмотра и работы НС выдает рекомендации по лечению и список показаний к проведению хирургического вмешательства.

Таким образом, предлагаемая и подлежащая доработке система коллаборативной обработки флебологических данных поможет поставить правильный диагноз при хронической венозной недостаточности и уменьшит загруженность врача.

Промежуточное хранилище данных

При использовании гибридной облачной архитектуры большое значение имеет организация промежуточных хранилищ данных.

Промежуточные хранилища данных используются на всех этапах предобработки данных, обучения моделей машинного обучения и обмена данными между автоматизированными рабочими местами (АРМ) различных пользователей.

Набор данных в системе включает в себя импорт данных МРТ-исследований, фотографий правых и левых нижних конечностей пациентов, а также разметку МРТ-снимка (рис. 3).

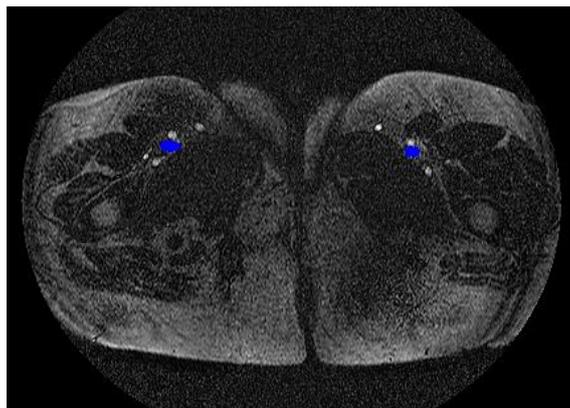


Рис. 3. Размеченный аксиальный срез МРТ-исследования
Примечание: скриншот авторов.

Промежуточное хранилище разметки данных создается для обеспечения одновременного доступа нескольких пользователей к работе с одним и тем же видом исследования, например МРТ-снимком. Очевидно, что все вносимые изменения должны быть непротиворечивы. Решение о правильной разметке снимков может принимать пользователь роли «руководитель клиники», «администратор».

Промежуточное хранилище разметки данных расположено в клиентской части АРМ врача и обеспечивает адекватный обмен исследованиями между всеми участниками разметки данных.

Рекомендательная подсистема как проект подсистемы поддержки принятия решения

Задачей рекомендательной подсистемы является генерация предположения о наличии патологии у пациентов с хроническими заболеваниями вен по данным анамнеза, симптоматике пациента и результатам визуального осмотра, а также генерация рекомендаций по его лечению.

За основу ПСППР было принято ДПР, которое состоит из ветвей, хранящих в себе наименования атрибутов, от которых зависит целевая функция, и листьев, куда записывается значение целевой функции. Упрощенный вариант ДПР по классификации ХЗВ СЕАР, при котором возможен выбор только одного класса из семи (С0–С6), приведен на рис. 4.

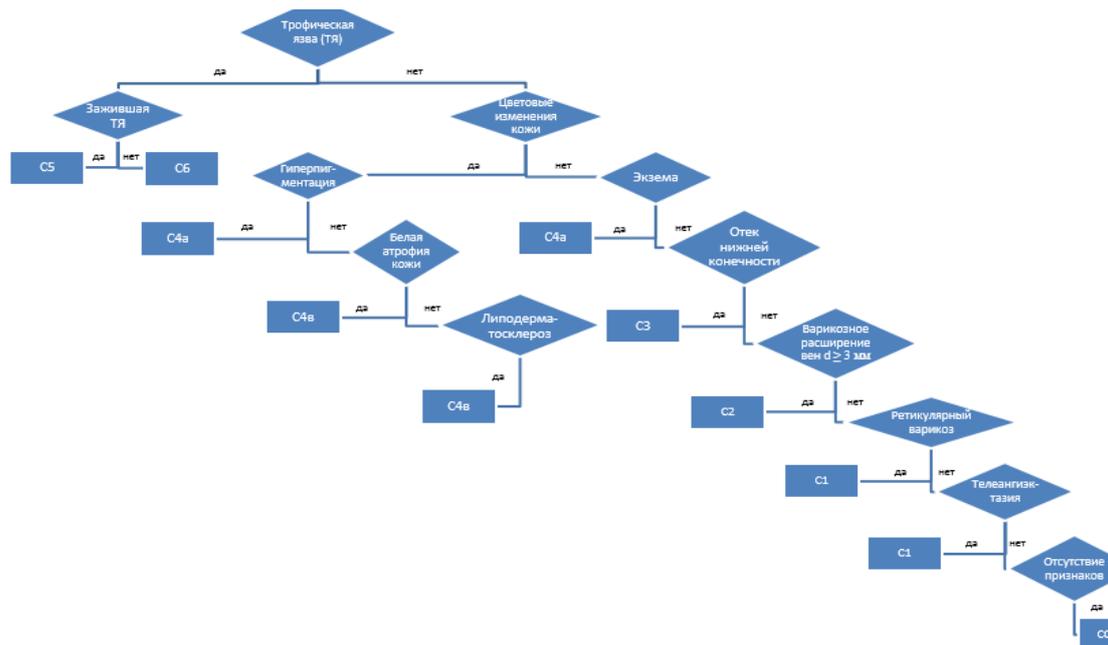


Рис. 4. Вариант дерева принятия решений по СЕАР
Примечание: разработано авторами.

Для проекта ПСППР была выбрана среда разработки Devel studio, предназначенная для создания приложений из готовых компонент, и язык программирования PHP [8].

При запуске программы в стандартном окне авторизации после запроса к БД пользователей на сервере (FileZilla) пользователь получает доступ к ПСППР (рис. 5).

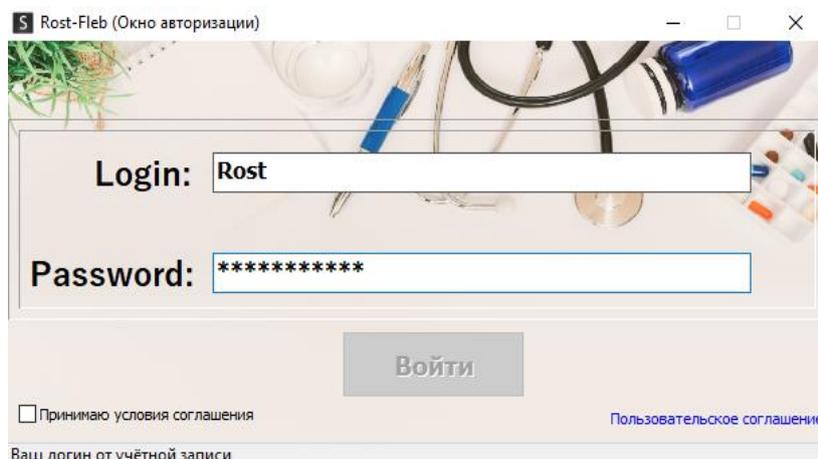


Рис. 5. Скомпилированное окно авторизации

Примечание: скриншот авторов.

Выполнив авторизацию, пользователь попадает на следующую вкладку – начальный этап выявления класса патологии по сбору данных о пациенте, которые в дальнейшем будут скомпонованы в ini-файлы и отправлены на сервер.

На вкладке расположены названия симптомов, поле-информатор, а также интерактивные кнопки, которые выполняют обработку данных, осуществляют очистку всех полей и возвращение назад (рис. 6).

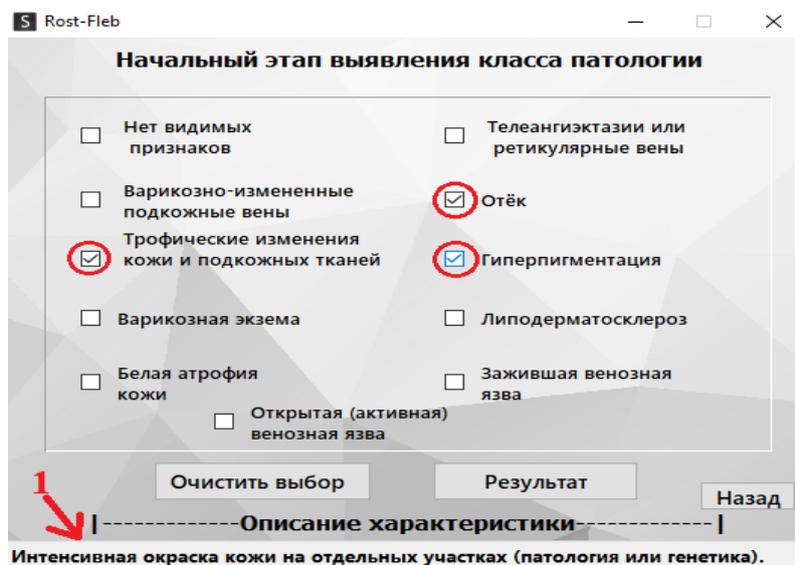


Рис. 6. Начальный этап сбора данных

Примечание: скриншот авторов.

На рис. 6 красным выделены жалобы конкретного пациента: трофические изменения кожи и подкожных тканей, отек и гиперпигментация. Стрелка 1 указывает на строку состояния окна приложения, которая появляется при наведении курсора на каждый из симптомов и представляет его расшифровку (в данном случае гиперпигментация).

После того как первоначальные данные получены, программа на основании ДПР перенаправляет пользователя в соответствующий подкласс. Исходя из выбранных симптомов на начальном этапе можно выделить два различных подкласса, включающих в себя:

- 1-й подкласс – 4 класса патологии, а именно C0–C3 (рис. 7);
- 2-й подкласс – 3 класса патологии, а именно C4–C6 (рис. 8).

Если пользователь выбирает минимум один пункт, относящийся ко второму подклассу, то программа отсекает симптомы из первого подкласса, так как класс патологии пациента выше, чем заявлен в первом подклассе, т. е. программа определяет наивысший класс патологии.

Боль

Нет Эпизодическая Ежедневная слабая Ежедневная сильная

Телеангиэктазии или ретикулярные вены

Нет Паукообразные (точечные) Спиралевидные (извитые) Древоидные

Варикозно-расширенные вены

Нет Незначительно выраженные Множественные Выраженные

Отек

Нет Вечерние окололодыжечные отёки Отёки во второй половине дня выше лодыжки Утренние отёки выше лодыжки

Очистить выбор Результат Назад

Описание характеристики

Нарушение кровообращения, неправильно подобранная обувь.

Рис. 7. Первый подкласс CEAP

Примечание: скриншот авторов.

Гиперпигментация

Нет Диффузная (ограниченная) Диффузная (выходящая за пределы) Распространённая

Варикозная экзема

Нет Эритематозная Везикулезная Мокнущие

Липодерматосклероз

Нет Зуд Отёк нижней трети голени Синюшный оттенок (коричневый)

Белая атрофия кожи

Нет Атрофический некус Атрофическая аплазия Гемиатрофия кожи

Зажившая венозная язва

Нет Менее 3 мес Более 3 мес, менее 1 года Более 1 года

Активная венозная язва, размер

Нет Менее 2 см в диаметре 2 - 4 см в диаметре Более 4 см в диаметре

Очистить выбор Результат Назад

Описание характеристики

Рис. 8. Второй подкласс CEAP

Примечание: скриншот авторов.

После выбора симптомов программа обрабатывает результат и на базе полученных выводов выдает рекомендации по лечению и профилактике патологии. Данные рекомендации составлены на основании клинических рекомендаций, а также опыта работы врачей-флебологов с пациентами с идентичными классами патологии (рис. 9).



Рис. 9. Список рекомендаций по лечению и профилактике патологии

Примечание: скриншот авторов.

У пользователя также есть возможность запросить канонические изображения ног каждого класса патологии и сравнить их с клинической картиной конкретного пациента для повышения точности постановки диагноза (рис. 10).

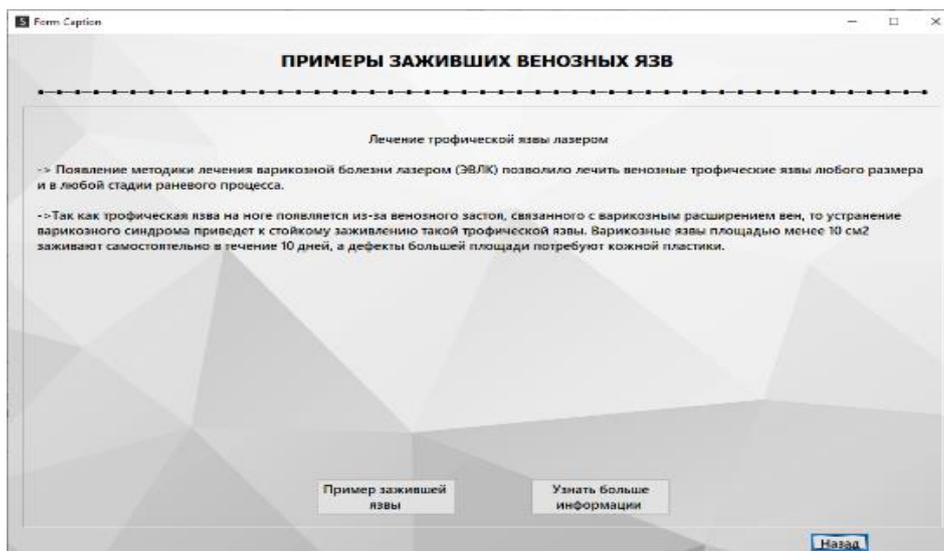


Рис. 10. Окно доступа к изображениям ног определенного класса патологии

Примечание: скриншот авторов.

Разработанная ПСППР на основе ДПР для врача-флеболога не является конечным вариантом программного модуля, но может быть использована в качестве прототипа и экспериментальной сборки полноценной системы в перспективе.

Заключение

Результатом описанного в статье исследования является концепция медицинской информационно-системы коллаборативной обработки флебологических данных на базе облачных технологий, подсистемы сбора, подготовки, накопления медицинских данных (в частности, фотографий и снимков МРТ-исследований нижних конечностей пациентов) и их разметки, а также разработанная подсистема поддержки принятия решений врача-флеболога.

В перспективе планируется создание персонифицированной интеллектуальной системы поддержки принятия решений для врача, которая при анализе данных рутинно применяемых методов исследования при хроническом заболевании вен (клинический осмотр, инструментальная диагностика) сможет создавать индивидуальную модель венозной системы конкретного пациента (аватар) для проведения различных виртуальных оперативных вмешательств и определения наиболее целесообразного в каждом конкретном клиническом случае способа лечения.

Статья подготовлена по результатам проведения исследовательского проекта «Зеркальные лаборатории НИУ ВШЭ».

Литература

1. Платформа для анализа и обработки медицинских изображений Botkin.AI. URL: <https://botkin.ai/> (дата обращения: 30.10.2021).
2. IBM Watson Patient Synopsis. URL: <https://www.ibm.com/products/watson-imaging-patient-synopsis> (дата обращения: 28.10.2021).
3. DIGITAL PATHOLOGY. URL: <https://dpathology.com/ru/> (дата обращения: 28.10.2021).
4. Рос. клинич. рекомендации по диагностике и лечению хронич. заболеваний вен // Флебология. 2018. № 12. С. 146–240.
5. Raissi M., Perdikaris P., Karniadakis G. E. Physics Informed Deep Learning (Part I): Data-Driven Solutions of Nonlinear Partial Differential Equations // arXiv:1711.10561 [cs.AI]. 2017. URL: <https://arxiv.org/abs/1711.10561> (дата обращения: 28.10.2021).
6. Галкин В. А., Урманцева Н. Р. Математическое моделирование гидродинамических процессов крови головного мозга // Вестник кибернетики. 2014. № 4. С. 35–42.
7. Obodan N., Gromov V. The Complete Bifurcation Structure of Nonlinear Boundary Problem for Cylindrical Panel Subjected to Uniform External Pressure // Thin-Walled Structures. 2016. Vol. 107. P. 612–619.
8. Локхарт Дж. Современный РНР. Новые возможности и передовой опыт. М. : ДМК Пресс, 2016. 304 с.
9. Урманцева Н. Р., Хитрень Д. В. Применение виртуальных контейнеров при создании медицинских информационных систем // Вестник кибернетики. 2021. № 2. С. 24–30.