

На правах рукописи



АСТАФЬЕВ Андрей Николаевич

**НЕЙРОСЕТЕВАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА И ПОДДЕРЖКИ
ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДИАГНОСТИКИ ВИРУСНОГО ГЕПАТИТА**

Специальность: 05.11.17 – Приборы, системы и изделия медицинского назначения

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

ЛИПЕЦК 2020

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Липецкий государственный технический университет» на кафедре физики и биомедицинской техники.

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Герашенко Сергей Иванович

Официальные оппоненты: **Иванов Александр Иванович**, доктор технических наук, ведущий научный сотрудник АО «ПНИЭИ»;
Сидорова Маргарита Александровна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Биотехнические системы» ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет»

Ведущая организация: Открытое акционерное общество «Научно-исследовательский институт физических измерений» (ОАО «НИИФИ»), г. Пенза

Защита состоится «__»_____ 2020 г., в __ часов на заседании диссертационного совета Д 212.186.02 в ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет» по адресу: 440026, г. Пенза, ул. Красная, 40.

С диссертацией и авторефератом можно ознакомиться в научной библиотеке ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет» и на сайте университета https://dissov.pnzgu.ru/ecspertiza/Tehnicheskie_nauki/astafyev

Автореферат разослан «__»_____ 2020 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Светлов Анатолий Вильевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Гепатит, к настоящему времени, является одной из основных проблем здравоохранения. Гепатиты имеют большую этиотропную классификацию, однако больше всего выделяются вирусные гепатиты. Общая оценка распространения вирусных гепатитов поражает масштабами, по данным Всемирной Организации Здравоохранения ежегодно инфицируются вирусом гепатита С 3-4 миллиона человек, общее количество носителей хронической формы оценивается в 130-170 миллионов человек. В России, по данным Роспотребнадзора, общее число заболевших вирусным гепатитом составляет более 3,5 миллионов человек.

Такая высокая распространенность гепатита обуславливается, на начальном этапе, вялым бессимптомным течением в острой форме, несвоевременным подбором наиболее эффективных лекарственных препаратов, поэтому в 80% случаев гепатит переходит в хроническую форму и при неблагоприятном исходе развивается цирроз печени и гепатоцеллюлярная карцинома.

Такое распространение заболевания влечет огромный экономический ущерб государству, поскольку выводит из строя трудоспособное население и предполагает огромные затраты на лечение или поддержание общего состояния. Сложность в диагностике гепатита возникает из-за наличия большого количества нозологических форм – А, В, С, D, E, G, которые характеризуются различными механизмами заражения, клиническими проявлениями, патогенезом, иммуногенезом, тяжестью течения и применяемыми методами диагностики. Даже при своевременной и правильной диагностике существуют огромные сложности с подбором и контролем эффективности лечения.

Решением данной проблемы может служить использование информационных технологий в медицине, которые в настоящее время используются в основном для накопления и обобщения медицинских данных. Однако использование медицинских данных в полной мере возможно только при применении систем, способных учитывать и накапливать опыт специалистов, основанных на обучаемых алгоритмах. Наиболее массовыми обучаемыми алгоритмами являются нейросетевые алгоритмы, однако огромное разнообразие архитектур и алгоритмов обучения затрудняет использование в полной мере возможности нейронных сетей. Поэтому одной из актуальных задач является разработка алгоритма, который подстраивает архитектуру нейронной сети под требуемую задачу.

Для апробации предложенной методики предлагается создание системы для решения проблемы определения нозологической формы и контроля состояния протекания заболевания вирусный гепатит. Данные системы будут призваны в режиме советчика помогать врачу в постановке диагноза и контроле эффективности лечения. Предлагаемый подход является актуальным, поскольку позволит добиться увеличения качества медицинской помощи.

Степень разработанности темы исследования. Актуальная задача диагностики человека по многофакторным данным является наиболее быстроразвивающейся областью науки, существует огромное количество обучаемых алгоритмов для задач, в которых отсутствуют методики решения. Имеется некоторое количество медицинских систем поддержки принятия решения, функционирующих с помощью нейронных сетей. Отличительной особенностью этих систем является проектирование архитектуры и алгоритма обучения системы под определенную задачу.

Разработке систем поддержки принятия решений в диагностике гепатита посвящены работы Горбаня А.Н., Россиева Д.А., Артюхина В.В. и др., но следует заметить, что предложенные системы имеют точность в пределах 70-90%, что в задачах медицины является неприемлемым, поскольку может порождать ошибки как первого, так и второго рода. Рассматриваемые в работах алгоритмы являются «жесткими», используемая топология нейронной сети постоянной, однако для задачи медицины лучшим подходом является применение алгоритмов, меняющих архитектуру нейронной сети в зависимости от задачи, количества входных и выходных данных.

Целью диссертационной работы является разработка и исследование нейронной сети классификаторов для распознавания нозологической формы вирусных гепатитов на основании данных анамнеза и лабораторных анализов, создание систем для скрининг-диагностики нозологических форм вирусного гепатита, контроля состояния протекания заболевания гепатит.

Для достижения поставленной цели решены следующие задачи:

1) Выбор исходных параметров, статистическая обработка, обоснование признаков, характеризующих различные нозологические формы гепатита, а также использующихся для контроля протекания заболевания.

2) Исследование типов, модульных структур и алгоритмов построения нейронных сетей с целью установления рационального варианта для решения задач распознавания нозологии и оценки состояния течения вирусных гепатитов.

3) Разработка информационно-аналитической экспертной системы поддержки принятия решения для скрининг-диагностики нозологической формы гепатита.

4) Разработка информационно-аналитической экспертной системы поддержки принятия решения для оценки протекания заболевания вирусный гепатит во времени.

5) Тестирование и оценка эффективности разработанных экспертных систем поддержки принятия решения.

Предметом исследования являются методы и алгоритмы формирования и обучения нейронных сетей с изменяемой архитектурой, методы и алгоритмы построения и функционирования медицинских экспертных систем поддержки принятия решения для диагностики нозологии и течения вирусного гепатита.

Объектом исследования является система поддержки принятия решения для определения нозологической формы гепатита, использующая данные

анамнеза и лабораторных анализов, система поддержки принятия решения для оценки состояния протекания заболевания гепатит, использующая данные лабораторных анализов.

Научная новизна. В диссертационной работе получены результаты, характеризующиеся научной новизной:

- Предложен способ формирования исходных информативных признаков и градаций данных о состоянии пациента для решения задачи диагностики нозологической формы вирусного гепатита, оценки прогнозирования течения вирусного гепатита, который, в отличие от существующих, позволяет учитывать имеющийся объем и комбинации исходных данных анамнеза и лабораторных анализов.

- Предложен способ формирования и оптимизации модульной структуры нейронной сети, позволяющий подстраивать внутреннюю архитектуру под конкретную задачу диагностики нозологии вирусных гепатитов и оценки состояния течения заболевания.

- Предложены и исследованы алгоритмы обучения нейронной сети, основанные на модифицированном адаптивном рекуррентно-итерационном алгоритме Качмажа, которые, в отличие от существующих, позволяют снизить трудоемкость обучения нейронной сети, повысить достоверность распознавания вирусных гепатитов и оценки течения заболевания.

- Разработана структура и программное обеспечение нейросетевой системы мониторинга и поддержки принятия решений диагностики вирусного гепатита, которая позволяет производить диагностику нозологической формы гепатита, оценку течения заболевания, а также осуществлять оценку тактики терапии и осуществлять рациональный выбор лекарственных препаратов, и, в отличие от аналогов, способна к самонастройке топологии исходя из поставленной задачи.

Теоретическая и практическая значимость работы.

Теоретическая значимость результатов работы заключается в развитии методов разработки и обучения медицинских нейросетевых систем для решения задачи диагностики и мониторинга.

Практическая значимость работы заключается в разработке программных систем:

- информационно-аналитическая интеллектуальная система поддержки принятия решений для скрининг-диагностики нозологической формы вирусного гепатита;

- информационно-аналитическая интеллектуальная система поддержки принятия решений диагностики состояния протекания вирусного гепатита для классификации состояния тяжести.

Применение данных систем позволит решать следующие задачи практической медицины:

- возможность применения для проведения скрининг-диагностики нозологической формы вирусного гепатита;

- возможность использования для проведения скрининг-оценки состояния пациента для выбора наиболее эффективного лечения;
- снижение временных и финансовых затрат при оценке эффективности проводимой противовирусной терапии гепатита, а также повышение эффективности лечения.

Работа выполнена при финансовой поддержке Фонда содействия развитию малых форм предпринимательства в научно-технической сфере «УМНИК» (договор от 21.12.2015 г. № 9469ГУ/2015).

Положения, выносимые на защиту:

1. Способ формирования исходных информационных признаков для решения задачи диагностики нозологической формы вирусного гепатита, оценки прогнозирования течения вирусного гепатита.
2. Модульная методика формирования топологии нейронной сети, отличающейся от известных способом формирования не только общей структуры сети, но и структуры отдельных модулей, которая позволяет повысить точность медицинской диагностики путем формирования нейронной сети под конкретные задачи.
3. Модифицированный адаптивный рекуррентно-итерационный алгоритм Качмажа для обучения и настройки предложенной модульной нейронной сети.
4. Программная реализация диагностической экспертной системы поддержки принятия решения прогнозирования нозологической формы вирусного гепатита, с точностью диагностики порядка 94%.
5. Программная реализация диагностической экспертной системы поддержки принятия решения для прогнозирования течения вирусного гепатита, с точностью оценки состояния пациента порядка 90%.

Результаты работы внедрены в учебный процесс ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет» в рамках образовательной программы по направлению подготовки 12.03.04 «Биотехнические системы и технологии», учебный процесс ФГБОУ ВО «Липецкий государственный педагогический университет имени П.П. Семенова-Тян-Шанского» дисциплины «Нейросетевые методы биометрической защиты информации», учебный процесс ФГБОУ ВО «Тверской государственный медицинский университет» в рамках образовательных программ по направлению подготовки 06.01.01 «Лечебное дело» и 06.01.03 «Педиатрия», в технический процесс оценки рисков ООО «Научно-производственного предприятия «Магистраль»».

Методология и методы исследования. Для решения поставленных задач использовались: методы статистического анализа, методы системного анализа, методики моделирования и обучения нейронных сетей, методики математического и программного моделирования экспертных систем поддержки принятия решений. При разработке системы поддержки принятия решения в качестве инструментария использовался пакет прикладных программ для задач технических вычислений Scilab 6.0.0., программный пакет для

статистического анализа STATISTICA 6.0, язык программирования высокого уровня Delphi и среда разработки программного обеспечения Lazarus 2.0.6.

Степень достоверности и апробация работы. Результаты исследования показали их воспроизводимость в различных условиях, непротиворечивость концепциям диагностики и методикам систем поддержки принятия решения, а также аналогичным результатам, полученным другими исследователями. Достоверность применяемых математических моделей подтверждается хорошей сходимостью практических и экспериментальных данных. Методы, модели и алгоритмы, используемые в экспертных системах поддержки принятия решения, базируются на теории модульных нейронных сетей и коррелируют с ранее опубликованными результатами теоретических и экспериментальных исследований по теме диссертационного исследования.

Основные теоретические положения и научные результаты диссертационной работы докладывались, обсуждались и получили положительную оценку на: XIX Международной научно-технической конференции «Медико-экологические информационные технологии – 2016» (г. Курск, 2016 г.), XXI Международной научно-технической конференции «Медико-экологические информационные технологии – 2018» (г. Курск, 2018 г.), XXII Международной научно-технической конференции «Медико-экологические информационные технологии – 2019» (г. Курск, 2019 г.), X Международной конференции «Физика и Радиоэлектроника в Медицине и Экологии» (ФРЭМЭ'2016, г. Суздаль, 2016 г.), XII Международной конференции «Физика и Радиоэлектроника в Медицине и Экологии» (ФРЭМЭ'2018, г. Суздаль, 2018 г.), XXI Международном симпозиуме «Надежность и качество» (г. Пенза, 2016 г.), XXIV Международном симпозиуме «Надежность и качество» (г. Пенза, 2019 г.), XXIX Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов «Биотехнические, медицинские и экологические системы и комплексы» (Биомедсистемы – 2016, г. Рязань, 2016 г.), XXXI Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов «Биотехнические, медицинские и экологические системы и роботехнические комплексы» (Биомедсистемы – 2018, г. Рязань, 2018 г.), XXXII Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов «Биотехнические, медицинские и экологические системы и роботехнические комплексы» (Биомедсистемы – 2019, г. Рязань, 2019 г.), третьей Всероссийской научно-практической конференции «Прикладные информационные системы» (г. Ульяновск, 2016 г.), VII Международной научно-методической конференции «Фармобразование – 2019 (г. Воронеж, 2018 г.).

Соответствие содержания диссертации научной специальности. Диссертация и автореферат Астафьева А.Н. соответствуют п. 2. «Значение решения научных, технических, медико-биологических проблем и проблем приборного и инструментального развития современных медицинских технологий и информационного их обеспечения для задач здравоохранения состоит в создании высокоэффективных инструментов, приборов,

оборудования, изделий, систем, комплектов, технического и программного обеспечения принципиально новых высокоэффективных средств и методов воздействия на человека и в оценке влияния на человека лечебного и поражающего фактора различных излучений, полей и других энергетических факторов воздействия на человека, создании измерительной техники и средств метрологического обеспечения, создании новых средств передачи и отображения медико-биологической информации» паспорта научной специальности 05.11.17 - Приборы, системы и изделия медицинского назначения (технические науки).

Публикации. Основные результаты диссертационного исследования отражены в 25 научных работах, из которых: 5 статей в ведущих рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК РФ, 1 статья в журнале, индексируемом в Scopus, 1 свидетельство о регистрации программ для ЭВМ.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, библиографического списка, включающего 140 источников, и 4 приложений. Основная часть работы изложена на 169 страницах машинописного текста, которая содержит 66 рисунков и 35 таблиц. Приложения занимают 8 страниц (Приложение А «Пример базы данных по нозологии гепатита», Приложение Б «Начальная база данных мониторинга течения гепатита», Приложение В «Регистрация программы для ЭВМ», Приложение Г «Акты внедрения»).

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность темы работы, формируются цели и задачи исследования, показывается научная новизна и практическая значимость работы, отражаются положения, выносимые на защиту.

В первой главе проведен анализ состояния проблемы диагностики нозологической формы и оценки состояния пациента, больного гепатитом. Проводится анализ существующего состояния патогенеза гепатита в Российской Федерации. Производится описание и анализ существующих методов диагностики нозологической формы гепатита с описанием каждой нозологической формы вирусного гепатита в отдельности. Выбирается наиболее информативные факторы диагностики, а также нозологические формы для диагностики в системе поддержки принятия решения.

Дается определение общего состояния организма пациента, больного вирусным гепатитом, проводится общий анализ методов, позволяющих оценивать состояние пациента больного гепатитом, проводится анализ существующих подходов по оценке состояния, формируются требования к унифицированному подходу для гепатита.

Проводится обзор существующих медицинских систем поддержки принятия решения в медицинской практике, методов, применяемых в медицинских системах, с анализом их достоинств и недостатков. Формируются

основные требования к медицинским диагностическим системам. Анализируются причины возникновения ошибок первого и второго рода.

Во второй главе исследуется проблема выбора топологии нейронной сети, производится сравнение алгоритмов обучения. В процессе доказываемости эффективности формируемой архитектуры, исследуются алгоритмы обучения, позволяющие проводить настройку топологии сети.

В настоящее время методы машинного обучения на основе нейронных сетей успешно используются в медицинской области. Отличительной особенностью построенных на их основе систем является необходимость применения большого количества признаков, характеризующихся существенным разбросом. Для решения подобных задач используются многослойные нейронные сети, однако выбор топологии затрудняет поиск наиболее оптимального решения задачи.

На основе проведенного анализа предлагается метод модульного формирования нейронной сети. Фактически, взаимодействуют модули разделенных нейронных сетей каскадной корреляции внутри, которые выстраивают свою архитектуру для решения задачи наилучшим образом.

Для нейронной сети $w = \{w_{ij}^d, \theta_i^d\}$, где w_{ij}^d - вес соединения между i -м блоком в глубине d -слоя и j -м блоком в глубине $d + 1$ слоя и θ_i^d - это смещение i -го блока в слое глубины d . Слоистая нейронная сеть с D слоями представлена следующей функцией:

$$f_j(x, w) = \sigma(\sum_i w_{ij}^{D-1} o_i^{D-1} + \theta_j^{D-1}), \quad (1)$$

$$o_j^{D-1} = \sigma(\sum_i w_{ij}^{D-2} o_i^{D-2} + \theta_j^{D-2}), \quad (2)$$

$$\vdots$$

$$o_j^2 = \sigma(\sum_i w_{ij}^1 x_i + \theta_j^1), \quad (3)$$

где сигмоидная функция определяется

$$\sigma = \frac{1}{1 + \exp(-x)},$$

Ошибка обучения $E(w)$ и ошибка обобщения $G(w)$, соответственно, определяются

$$E(w) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \|Y_i - f(X_i, w)\|^2, \quad (4)$$

$$G(w) = \int \|y - f(X_i, w)\|^2 q(x, y) dx dy, \quad (5)$$

где $\|\cdot\|$ - евклидова норма R^N .

Ошибка обобщения аппроксимируется

$$G(w) \approx \frac{1}{m} \sum_{i=1}^n \|Y_i' - f(X_i', w)\|^2, \quad (6)$$

где $\{(X_i', Y_i')\}_{i=1}^n$ является тестовым набором данных, независимых от набора данных обучения.

Предлагаемый метод построения модульной нейронной сети, который применяется к сетям каскадной корреляции представлен на рисунке 1-А.

Ключевая идея метода заключается в том, что распределение объектов в единицах на каждом уровне оценивается с помощью соединения со смежными уровнями. Как показано на рисунке 1-В, частичная сеть, состоящая из

соединений между каждым уровнем и его смежными уровнями, представлена в виде двух матриц: $A^d = \{A_{ij}^d\}$ и $B^d = \{B_{ij}^d\}$. Матрицы A^d и B^d представляют соединения между двумя слоями глубины $d-1$ и d и двумя слоями глубины d и $d+1$ соответственно.

Элемент A_{ij}^d задается как

$$A_{ij}^d = \begin{cases} 1 & (|w_{ij}^{d-1}| \geq \xi) \\ 0 & (\text{остальное}) \end{cases}. \quad (7)$$

где ξ гиперпараметр для снятия веса.

Аналогичным образом элемент B_{ij}^d задается как (7)

$$B_{ij}^d = \begin{cases} 1 & (|w_{ij}^d| \geq \xi) \\ 0 & (\text{остальное}) \end{cases}. \quad (8)$$

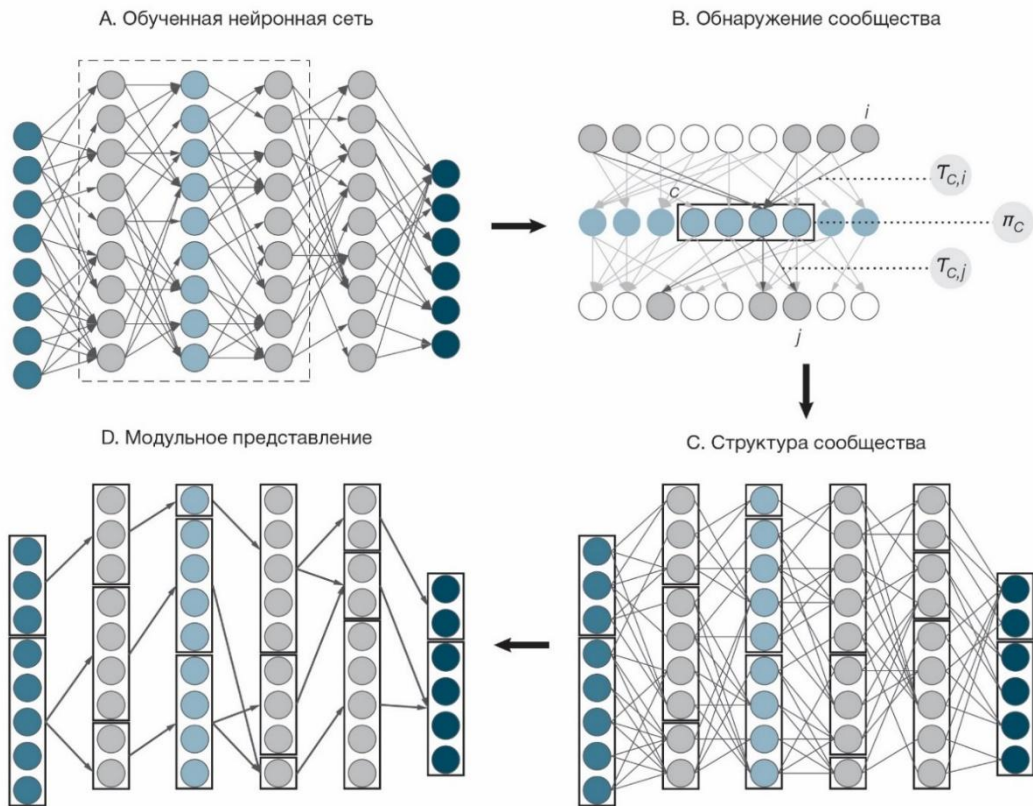


Рисунок 1 – Предлагаемый метод модульного представления нейронной сети

Как показано на рисунке 1-В, статистическая модель обнаружения сообщества имеет три вида параметров. Первый параметр $\pi = \{\pi_c\}$ представляет априорную вероятность единицы в слое глубины d , которая принадлежит сообществу c . Условная вероятность соединения для данного сообщества c представлена вторым и третьим параметрами $\tau = \{\tau_{c,i}\}$ и $\tau' = \{\tau'_{c,i}\}$, где $\tau_{c,i}$ представляет вероятность того, что соединение с единицей в сообществе c прикреплено из i -го блока в глубину $d-1$ слоя. Аналогично, $\tau'_{c,i}$ представляет вероятность того, что соединение от единицы в сообществе c

присоединено к j -му юниту на уровне глубины $d+1$. Здесь опускается индекс d в параметрах π , τ , τ' для простоты. Эти параметры нормированы так, чтобы они удовлетворяли следующим условиям:

$$\sum_c \pi_c = 1. \sum_i \tau_{c,i} = 1. \sum_i \tau'_{c,i} = 1. \quad (9)$$

Цель – найти параметры π , τ , τ' , которые максимизируют вероятность заданных матриц A , B . Чтобы решить эту проблему, вводится назначение сообщества $g=\{g_k\}$, где g_k – сообщество k -й единицы в слое глубины d . Параметры оптимизируются таким образом, чтобы они максимально увеличивали вероятность A , B и g :

$$Pr(A, B, g | \pi, \tau, \tau') = Pr(A, B | g, \pi, \tau, \tau') Pr(g | \pi, \tau, \tau'), \quad (10)$$

где

$$Pr(A, B, g | \pi, \tau, \tau') = \prod_k \{ \prod_i (\tau_{gk,i})^{A_{ik}} \} \{ \prod_j (\tau'_{gk,j})^{B_{kj}} \}, \quad (11)$$

$$Pr(g | \pi, \tau, \tau') = \prod_k \pi_{gk}, \quad (12)$$

Тогда логарифмическая вероятность A , B и g задается

$$\zeta = \ln Pr(A, B, g | \pi, \tau, \tau') = \ln Pr(A, B | g, \pi, \tau, \tau') + \ln Pr(g | \pi, \tau, \tau') = \sum_k \{ \ln \pi_{gk} + \sum_i A_{ik} \ln \tau_{gk,i} + \sum_j B_{kj} \ln \tau'_{gk,j} \}, \quad (13)$$

Параметр g в (13) является скрытой переменной и заранее неизвестен, поэтому вычисляется ожидаемое логарифмическое правдоподобие $\bar{\zeta}$ над g :

$$\bar{\zeta} = \sum_{k,c} q_{k,c} \{ \ln \pi_c + \sum_i A_{ik} \ln \tau_{c,i} + \sum_j B_{kj} \ln \tau'_{c,j} \} \quad (14)$$

Параметр $q_{k,c}$ представляет вероятность того, что k -я единица присваивается сообществу c .

Если $\{q_{k,c}\}$, $\{\pi_c\}$, $\{\tau_{c,i}\}$, $\{\tau'_{c,j}\}$ максимизируют $\bar{\zeta}$ в (14), тогда они удовлетворяют

$$q_{k,c} = \frac{\pi_c [\prod_i \tau_{c,i}^{A_{ik}}] [\prod_j \tau'_{c,j}^{B_{kj}}]}{\sum_s \pi_s [\prod_i \tau_{s,i}^{A_{ik}}] [\prod_j \tau'_{s,j}^{B_{kj}}]}, (\forall k, c) \quad (15)$$

$$\pi_c = \frac{\sum_k q_{k,c}}{l} \quad (16)$$

$$\tau_{c,i} = \frac{\sum_k q_{k,c} A_{ik}}{\sum_{k,i} q_{k,c} A_{ik}} \quad (17)$$

$$\tau'_{c,i} = \frac{\sum_k q_{k,c} B_{kj}}{\sum_{k,j} q_{k,c} B_{kj}}, (\forall c, i, j) \quad (18)$$

Из приведенных выше расчетов оптимальные параметры π , τ , τ' и вероятность определения q для оптимизированных параметров итеративно оцениваются на основе уравнений (17) и (18), сообщество определяется c , которая максимизирует $q_{k,c}$ (Рисунок 1-С).

Наконец, используются следующие методы для определения модульного представления слоистой нейронной сети, суммирующей типовые связи между модулями (Рисунок 1-D), при котором в модульном представлении определяются связанные соединения, которые суммируют множество соединений между нейронами.

Задача, которая ставится перед описанным алгоритмом, заключается в проработке наиболее простой и эффективной топологии нейронной сети. Метод формирования соединения сообществ модулей может использоваться для

конструирования сетей большого размера. Именно алгоритм позволяет произвести самоорганизацию сети, которая разделяется на два этапа:

- самоорганизация отдельных модулей нейронной сети каскадной корреляции;
- самоорганизация отношений между модулями для финальной топологии.

В общем случае нейронная сеть будет состоять из множества модулей, которые добавляются или убираются. Модульная нейронная сеть снижает размерность нейронной сети для конкретной задачи. Однако для сложной задачи необходимо применение более сложных архитектурно нейронных сетей, поэтому используя нейронные сети каскадной корреляции в качестве модуля.

Нейронные сети каскадной корреляции представляют собой многослойную каскадную нейронную архитектуру, топология сети формируется в процессе обучения путем добавления одного или нескольких нейронов, процесс окончания обучения останавливает не только формирование весов, но и формирование структуры сети. Финальная цель обучения состоит в таком подборе весов, при котором корреляция между активностью добавленного нейрона и значение погрешности на выходе сети максимизируется и определяется коэффициентом корреляции S .

$$S = \sum_{j=1}^M |\sum_{k=1}^p (v^{(k)} - \bar{v})(e_j^{(k)} - \bar{e}_j)|, \quad (19)$$

где p – количество обучающих выборов, M – количество выходных нейронов, $v^{(k)}$ – выходной сигнал нейрона-кандидата при k -ой обучающей выборке, $e_j^{(k)}$ – значение погрешности j -го скрытого нейрона для k -ой обучающей выборки, $\bar{v}$ и $\bar{e}$ v и e_j – средние значения.

После достижения максимального значения S нейрон-кандидат включается в структуру сети, рассчитанные веса его связей фиксируются и продолжается процесс подбора весов выходных нейронов по минимизации целевой функции. Обучение происходит одновременно для нескольких нейронов-кандидатов. Общая топология формирования сети каскадной корреляции по модульному принципу представлена на рисунке 2.

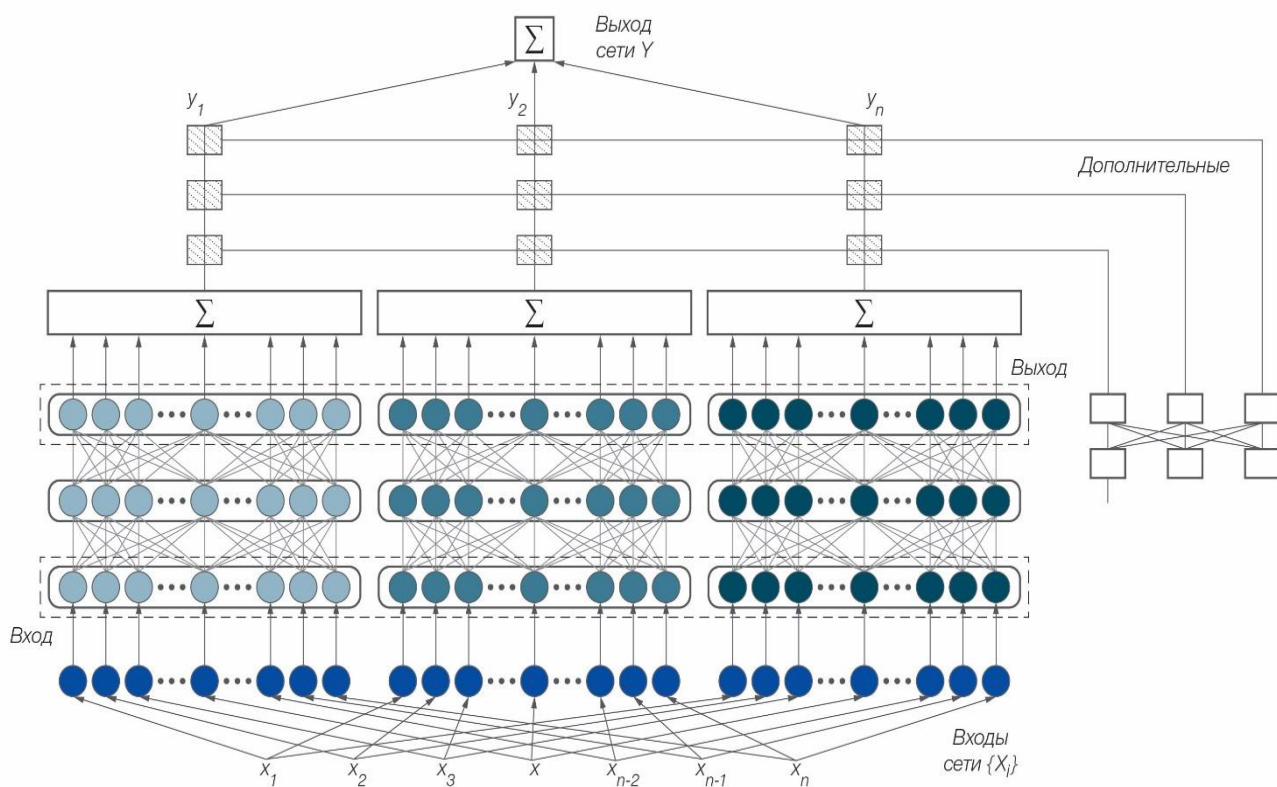


Рисунок 2 – Архитектура полученной сети

Настройка весов нейронной сети каскадной корреляции осуществляется с применением итерационного алгоритма Качмажа. Алгоритм имеет простую геометрическую интерпретацию, каждое линейное уравнение в N -мерном пространстве R^N представляет собой гиперплоскость. При выполнении условия невырожденности системы гиперплоскости имеют пересечение в единственной точке, которая является решением уравнения.

Рассмотрим методику решения подробнее, условия задачи составляют:

$$A \cdot u = f, A \in R^N, f \in R^N, \det A \neq 0, \quad (20)$$

Суть метода заключается в последовательном приближении на гиперплоскости (A_i, u) , $i=1 \dots n$. где $A = (a_1, a_2, \dots, a_m)^T \in R^{m \times n}$, $u \in R^m$, $f = (f_1, f_2, \dots, f_m) \in R^m$, проекционная последовательность определяется уравнением

$$j(k) = (k \bmod m) \overline{0, \infty}, \quad (21)$$

где k – порядковый номер итерации, u^0 – начальное приближение, λ_k – параметр релаксации.

Итерационная последовательность определяется формулой

$$u_k^i = u_k^{i-1} + A_i^T \cdot \frac{f_i - (A_i, u_k^{i-1})}{\|A_i\|^2}, \quad (22)$$

где $i=1 \dots n$, $k=1 \dots m$,

$$u_{k+1}^0 = u_k^n \quad (23)$$

где k – номер внешней итерации, i – номер внутренней.

Остановка итерационного процесса выполняется при выполнении условия

$$\delta = \frac{\|u_{k+1}^0 - u_k^0\|^2}{\|u_{k+1}^0\|^2} \leq \varepsilon \quad (24)$$

$$\varepsilon = |u_{\text{расчитанное}} - u_{\text{эталонное}}|, \quad (25)$$

Итерационный метод Качмажа сложно предсказать по результатам сходимости, для решения данной ошибки предлагается введение в алгоритм релаксационного параметра μ .

В этом случае итерационная последовательность примет вид

$$u_k^i = u_k^{i-1} + \mu \cdot A_i^T \cdot \frac{f_i - (A_i, u_k^{i-1})}{\|A_i\|^2}, \quad (26)$$

где $i=1 \dots n, k=1 \dots m$,

$$u_{k+1}^0 = u_k^n \quad (27)$$

Рассмотренный алгоритм используется для вычисления весовых коэффициентов в модульной нейронной сети, используемой как основа системы по определению нозологической формы гепатита и оценки состояния течения заболевания.

В третьей главе рассмотрено создание системы поддержки принятия решения для задачи диагностики нозологической формы гепатита.

Обучение системы осуществлено по данным 421 пациента, общее количество примеров составляет 677. Количество входных факторов, с помощью которых происходит определение нозологии гепатита, было определено в главе 1 и составляет 55, количество откликов, характеризующих нозологию, составляет 6.

На основании медицинских карт пациентов за период с 2014 по 2018 г. создана электронная база данных, основываясь на которой происходит обучение системы и автоматическое формирование топологии и весовых коэффициентов нейронной сети. Система реализована в среде разработки Lazarus 1.6.4, в качестве системы управления базы данных используется MS Access. Структурная схема системы поддержки принятия решения приведена на рисунке 3, в схеме присутствует основной модуль-решатель и модуль обучения, который задействуется только при формировании топологии и весовых коэффициентов.



Рисунок 3 – Структура системы поддержки принятия решения для определения нозологической формы гепатита

Общая структура ввода и вывода системы спроектирована с учетом предъявляемых требований к медицинским системам, рабочее окно разработанной системы представлено на рисунке 4.

В процессе обучения системы производились исследования по возможности формирования наилучшей обучающей выборки, которые показали, что ошибка обучения может достигаться уменьшением количества примеров путем добавления примеров с наибольшей ошибкой, теоретически можно подобрать примеры, которые обучают каждую нозологию с 25-30 примерами.

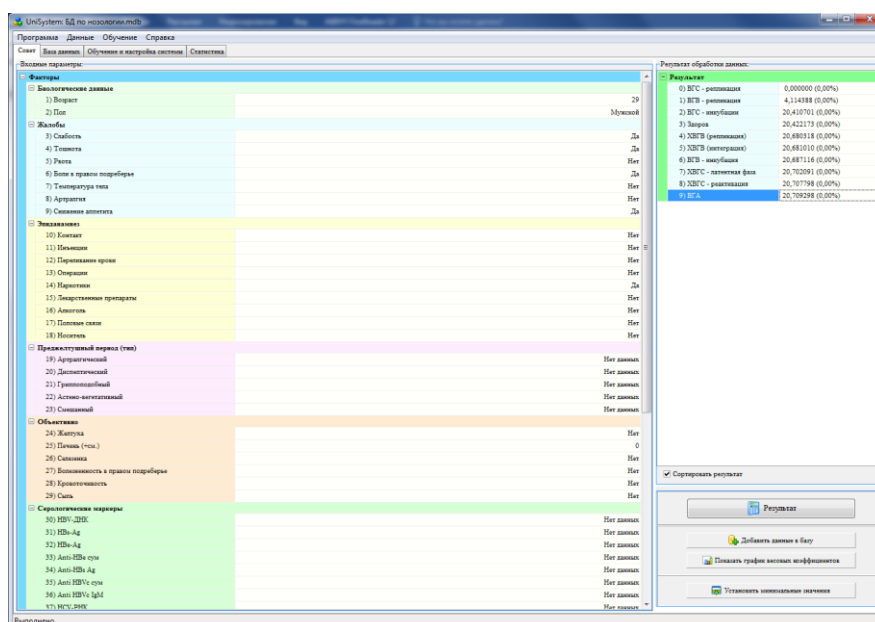


Рисунок 4 – Рабочее окно системы поддержки принятия решения для определения нозологической формы гепатита

Законченная система была обучена данными значений 421 образа, которые характеризуют пациентов, больных различными нозологиями гепатита. Гистограмма распределения заболеваемости по нозологическим видам гепатита представлено на рисунке 5.

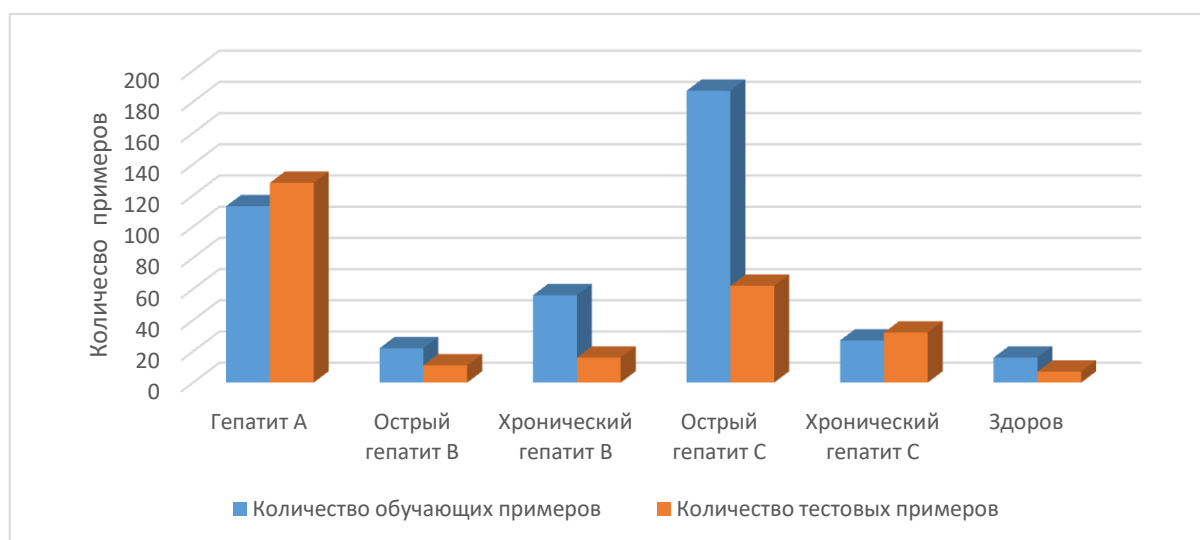


Рисунок 5 – Распределение заболеваемости по нозологиям гепатита

Апробация системы происходила на тестирующей выборке, состоящей из 256 образов, коэффициент корреляции оценок системы с оценками врача для полных образов составил 0,94. На рисунке 6 представлены расчётные значения для 10 образов, характеризующих пациентов, больных хроническим гепатитом С и здоровых, не участвующих в обучении системы. Эталонное значение равно 1. Из гистограммы можно заметить, что в рассматриваемом случае коэффициент корреляции составляет 0,92.

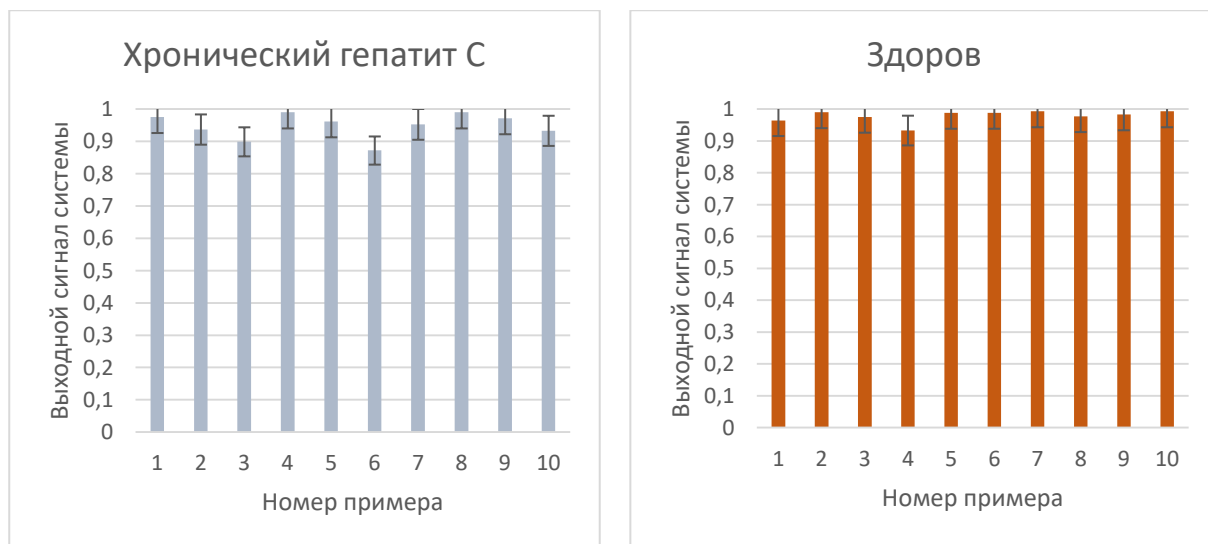


Рисунок 6 – Гистограммы диагнозов, поставленных системой

Проводя сравнение оценок системы и диагнозов можно заметить, что погрешность не превышает 6%, количество правильно поставленных диагнозов системой составляет 94%.

Полученные результаты позволяют утверждать об эффективности предложенной методики определения нозологии гепатита с использованием модульной нейронной сети, обучаемой по алгоритму Качмажа. Система поддержки принятия решения может применяться, как система советчик или система двойного контроля диагностики заболевания.

В четвертой главе рассмотрено создание системы поддержки принятия решения для диагностики состояния пациента, больного гепатитом.

Основная проблема оценки состояния больного и оценки эффективности лечения заключается в разнородности факторов. Построение и анализ закономерностей диагностических данных пациента, больного гепатитом, которые характеризуются многофакторной информацией, в полной мере возможны только при применении нейронных сетей. Для оценки состояния пациента требуется учитывать определенное количество факторов в динамике, в главе 1 были подобраны наиболее точные факторы, которые характеризуют состояние. В качестве входных параметров системы были выбраны значения 20 биологических анализов и факторов, которые используются для диагностики состояния при гепатите. Оценка состояния системой варьируется по пятибалльной шкале, где 1 характеризует комплекс значений факторов, характерных для здорового человека, 2 – состояние больного удовлетворительно, 3 – состояние больного средней тяжести, 4 – среднетяжелое состояние, 5 – состояние, характерное для тяжелобольного человека.

Реализованная система поддержки принятия решения выполняет функции формирования и обучения модульной нейронной сети, в которой имеются 20 входов и 1 выход. Структурная схема интеллектуальной системы представлена на рисунке 7, в структурной схеме представлены основной модуль, который участвует в получении отклика системы при представлении входных факторов,

и модуль обучения системы, задействованный при формировании весовых коэффициентов.



Рисунок 7 – Структура системы поддержки принятия решения для определения состояния при гепатите

Общее описание системы идентично системе по определению нозологии гепатита, различие заключается в рабочем окне системы, которое для системы мониторинга представлено на рисунке 8. Система реализована в среде разработки Lazarus 1.6.4, в качестве системы управления базы данных используется MS Access.

В процессе обучения системы производились исследования по методике обучения системы, необходимые для повышения эффективности: выявлено влияние объема обучающей выборки на достоверность системы, выявлено влияние величины допуска ошибки обучения на точность интерпретации отклика и скорость обучения, определены способы формирования обучающей выборки, выявлено влияние нормирования значений факторов на достоверность системы. Проведены исследования по методике формирования обучающей выборки для определения состояния пациента. Спроектированная обучающая выборка состоит из 53 примеров для 5 состояний пациента.

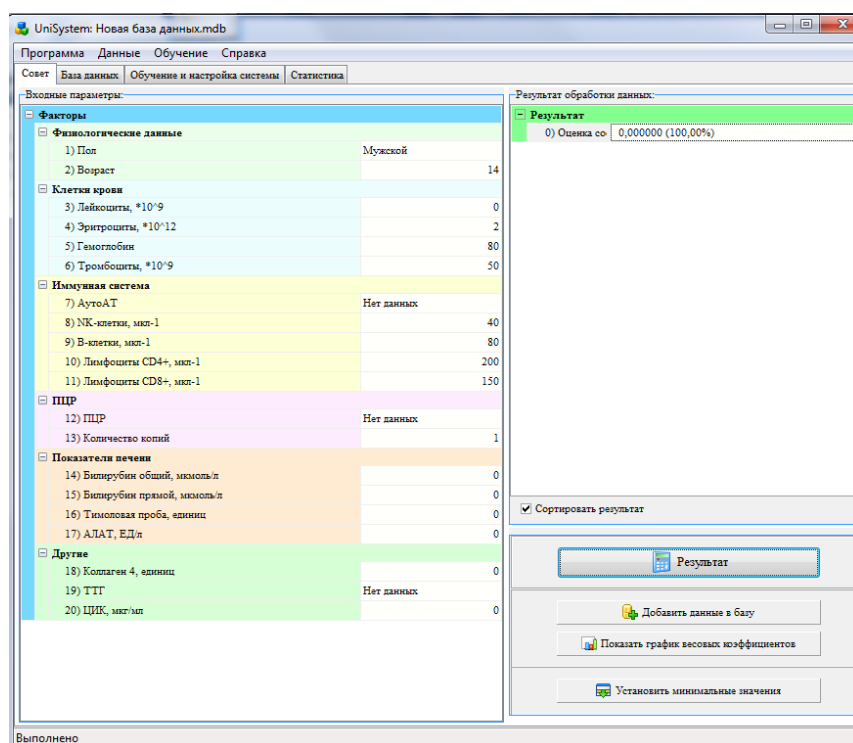


Рисунок 8 – Рабочее окно системы поддержки принятия решения для определения состояния при гепатите

Созданная система прошла клиническую апробацию, с её помощью было проведено исследование эффективности группы препаратов для лечения гепатита С, у каждого препарата учитывались средние значения тяжести 5 пациентов, гистограмма сравнения оценки врача и системы представлены на рисунке 9.

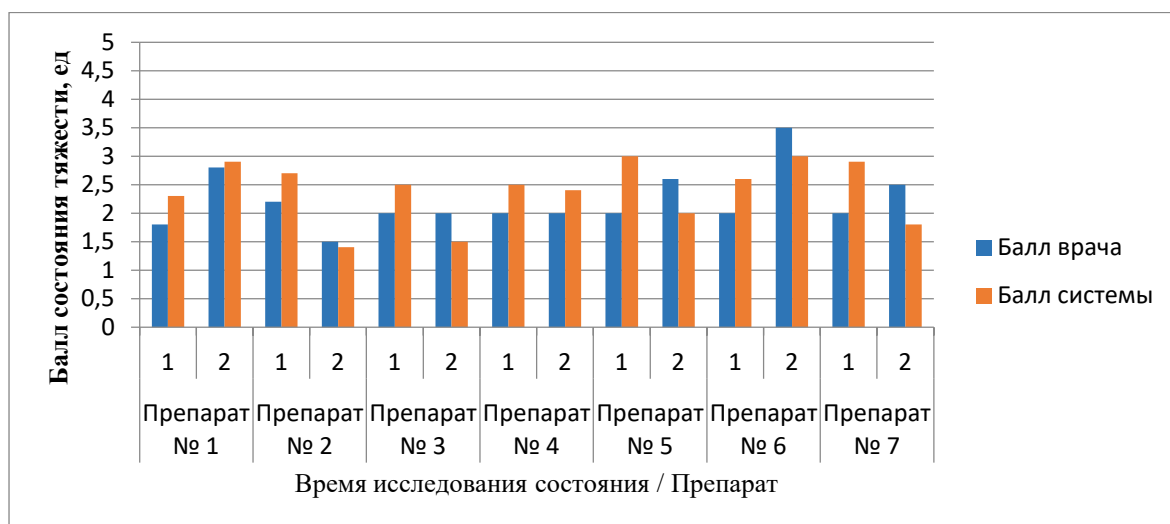


Рисунок 9 – Гистограмма сравнения состояния пациентов (где 1 – начало приёма препарата, 2 – через 6 месяцев).

Коэффициент корреляции системы с оценкой врача составляет 0,93, что позволяет говорить о достаточной точности системы.

Одной из наиболее важных проблем современной медицины является определение состояния пациента, исследуя изменения состояния, можно

осуществлять выбор наилучшего лекарственного препарата из огромного перечня, определять эффективность лечения, выбирать необходимую дозировку, тем самым снижая токсические последствия для организма.

Была исследована и подтверждена эффективность предложенной методики обучения системы поддержки принятия решения для оценки состояния пациента, больного гепатитом. Оценка проводилась на реальных данных пациентов, проходивших курс лечения в лечебно-профилактических учреждениях г. Липецка, эффективность постановки диагноза системой для обучающей выборки составила 100%, для тестирующей выборки – 90,3%.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

В результате выполненных в диссертации исследований была решена научная задача – на основе исходных информативных признаков и градаций данных о состоянии пациента проведена диагностика нозологической формы и оценка течения вирусного гепатита, с применением нейросетевой системы мониторинга и поддержки принятия решений, которая работает на модульной структуре нейронной сети с формируемой топологией, обучаемой с помощью модифицированного адаптивного рекуррентно-итерационного алгоритма Качмажа.

Решенная задача позволит увеличить качество диагностики и терапии вирусных гепатитов при применении системы, как советчика для подтверждения наиболее вероятного диагноза.

Основные результаты исследований, представленные в материалах диссертации, позволили сформулировать следующие выводы:

1) Проведен анализ методов диагностики нозологической формы вирусного гепатита, позволивший выбрать наиболее важные параметры для диагностики, общим количеством 55. Предложен скорректированный перечень нозологий вирусного гепатита для полноценного охвата диагнозов в количестве 5.

2) Проведен анализ методов диагностики состояния пациента больного вирусным гепатитом, позволивший выбрать наиболее важные параметры для оценки состояния, общим количеством 20. Предложен перечень оценок состояния пациента при вирусном гепатите в количестве 5.

3) Предложены и исследованы алгоритмы построения и обучения модульной нейронной сети, основанные на адаптивном рекуррентно-итерационном алгоритме Качмажа, которые, в отличие от конкурирующих, подстраивают внутреннюю топологию под конкретную задачу, а также позволяют снизить трудоемкость обучения нейронной сети на 7%, повысить достоверность распознавания вирусных гепатитов до 94,3% и оценки состояния тяжести до 90,3%.

4) Проведено сравнение методов обучения нейронных сетей для диагностики вирусного гепатита, которое показало эффективность применения модульной нейронной сети для диагностики нозологии гепатита и состояния

пациента, эффективность оценок на обучающей выборке на 15% выше для модульной сети в сравнении с распространенными нейронными сетями.

5) Реализована система поддержки принятия решения, служащая для двойного контроля диагностики нозологии гепатита врачом-экспертом, выполняющая функции обучения нейронной сети и компьютерной диагностики с помощью модульной нейронной сети и позволяющая проводить диагностику с достоверностью более 90%.

6) Предложен способ формирования исходных информативных признаков и градаций данных о состоянии пациента, который реализован в системе поддержки принятия решения, служащей для двойного контроля оценки состояния течения гепатита врачом-экспертом, выполняющая функции обучения нейронной сети и компьютерной диагностики с помощью модульной нейронной сети, позволяющая проводить диагностику состояния пациента с достоверностью более 90%, а также производить оценку эффективности применяемых лекарственных препаратов.

7) Работа обеспечивает создание и внедрение новых диагностических средств в медицинскую практику: нейросетевая система поддержки принятия решения диагностики нозологической формы вирусного гепатита, нейросетевая система поддержки принятия решения мониторинга состояния пациента с заболеванием вирусный гепатит.

Статьи и публикации по теме диссертации

Статьи в изданиях, включенных в Scopus

1. Astafyev Andrey N. Neural Network System for Medical Data Approximation / Astafyev Andrey N., Gerashchenko Sergey I., Markuleva Marina V., Gerashchenko Mikhail S. // Proceedings of the 2020 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering. St. Petersburg and Moscow. – 2020. pp. 1483-1487.

Статьи в изданиях, рекомендованных ВАК

2. Астафьев А.Н. Диагностическая система поддержки принятия решения для анализа серологических маркеров гепатита / Астафьев А.Н., Геращенко С.И., Юрков Н.К. // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2019. – № 4. – С. 4–14.

3. Дмитриев Г.А. Система поддержки принятия решений при определении нозологической формы гепатита / Дмитриев Г.А., Астафьев А.Н. // Программные продукты и системы. – 2017. – №4. – С. 754–757.

4. Астафьев А.Н. Интеллектуальная система оценки состояния / Астафьев А.Н., Воронин С.В. // Вести высших учебных заведений Черноземья. – 2018. – № 2 (52). – С. 73–81.

5. Астафьев А.Н. Методика классификации лекарственных препаратов для лечения гепатита по степени эффективности / Астафьев А.Н. // Современная

наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. – 2019. – № 10. – С. 58–62.

6. Астафьев А.Н. Нейросетевое прогнозирование эффективности фармакотерапии при гепатите / Астафьев А.Н., Воронин С.В., Водеников С.К. // Интеллектуальные системы в производстве. – 2019. – Т.17. – № 4. – С. 4–11.

Статьи в других журналах и научных сборниках

7. Астафьев А.Н. Автоматизированная система классификации медицинских данных на основе нейронной сети / Астафьев А.Н., Воронин С.В., Кавыгин В.В. // Вести высших учебных заведений Черноземья. – 2016. – №3 (45). – С. 72 – 76.

8. Астафьев А.Н. Нейросетевая система для аппроксимации медицинских данных / Астафьев А.Н., Воронин С.В. // Вести высших учебных заведений Черноземья. – 2018. – № 4 (54). – С. 74–81.

9. Геращенко С.И. Применение многоуровневых нейронных сетей для классификации биомедицинских данных / Геращенко С.И., Астафьев А.Н., Воронин С.В., Геращенко С.И. // Вести высших учебных заведений Черноземья. – 2019. – № 3 (57). – С. 75–84.

10. Астафьев А.Н. Методика дифференциальной диагностики нозологической формы вирусного гепатита с применением нейронной сети каскадной корреляции / Астафьев А.Н. // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2019. – Т.7. – № 3 (26). – С. 2–14.

11. Астафьев А.Н. Проектирование медицинской системы поддержки принятия решений / Астафьев А.Н., Геращенко С.И., Шарапов С.И. // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. – 2019. – № 12. – С. 46–53.

12. Астафьев А.Н. Экспертная система оценки состояния тяжести пациента для мониторинга эффективности лечения / Астафьев А.Н. // Высшая школа. – № 2. – 2016. – С. 82 – 84.

13. Астафьев А.Н. Нейронная сеть для классификации сцинтиграфии щитовидной железы / Астафьев А.Н. // Научные исследования и разработки молодых ученых. – № 10. – 2016. – С. 111 – 116.

14. Астафьев А.Н. Применение нейронной сети с направленной активацией нейронных элементов для оценки эффективности лечения гепатита / Астафьев А.Н., Четвериков С.В. // Труды международного симпозиума надежность и качество. – № 2. – 2016. – С. 281 – 283.

15. Астафьев А.Н. Нейронная сеть с направленной активацией нейронных элементов / Астафьев А.Н., Кавыгин В.В. // Актуальные вопросы науки. – № XXV. – 2016. – С. 155 – 158.

16. Астафьев А.Н. Нейронная сеть для оценки эффективности лечения гепатита / Астафьев А.Н., Кавыгин В.В. // Медико-экологические информационные технологии-2016. Сборник научных статей по материалам XIX Международной научно-технической конференции. – 2016. – С. 64 – 68.

17. Астафьев А.Н. Информационно-измерительная система диагностики гепатита / Астафьев А.Н. // Биотехнические, медицинские и экологические системы и комплексы. Биомедсистемы – 2016. Материалы конференции. Рязанский государственный радиотехнический университет. – 2016. – С. 408 – 411.
18. Астафьев А.Н. Информационно-измерительная система диагностики гепатита / Астафьев А.Н. // Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии – ФРЭМЭ'2016. Доклады XII Международной научной конференции с научной молодежной сессией. Владимирский государственный университет им. Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых. – 2016. – С. 316 – 319.
19. Астафьев А.Н. Экспертная система для оценки эффективности лечения гепатита / Астафьев А.Н., Кавыгин В.В. // Прикладные информационные системы. Сборник научных трудов. Ульяновский государственный технический университет (Ульяновск). – 2016. – С. 105 – 108.
20. Астафьев А.Н. Нейронная сеть для оценки эффективности лечения гепатита / Астафьев А.Н. // Достижения и приложения современной информатики, математики и физики. Материалы V Всероссийской научно-практической заочной конференции. Башкирский государственный университет (Уфа). – 2016. – С. 4 – 10.
21. Астафьев А.Н. Система поддержки принятия решения для анализа эффективности лечения пациента с заболеванием гепатит / Астафьев А.Н. // Современные информационные технологии. Теория и практика Теория и практика. Материалы III Всероссийской научно-практической конференции. Череповецкий государственный университет (Череповец). – 2016. – С. 50 – 52.
22. Астафьев А.Н. Методика оценки эффективности применяемых лекарственных препаратов / Астафьев А.Н., Шарапов С.И. // В сборнике: Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии. Труды XIII Международной научной конференции с научной молодежной школой имени И.Н. Спиридонова. – 2018. – С. 70 – 74.
23. Астафьев А.Н. Методика определения тяжести состояния пациента с использованием модульной нейронной сети. / Астафьев А.Н. // Труды международного симпозиума Надежность и качество. – 2019. – Т.2. – С. 179 – 182.
24. Астафьев А.Н. Модульная нейронная сеть для мониторинга эффективности лечения гепатита / Астафьев А.Н. // В сборнике: Медико-экологические информационные технологии - 2019. Сборник научных статей по материалам XXII Международной научно-технической конференции. Юго-Западный государственный университет. Курск. – 2019. – С. 33 – 37.
25. Астафьев А.Н. Система оценки состояния тяжести пациента. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ. № 2017611279 от 01.02.2017.

Астафьев Андрей Николаевич

**НЕЙРОСЕТЕВАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА И ПОДДЕРЖКИ
ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДИАГНОСТИКИ ВИРУСНОГО ГЕПАТИТА**

Специальность 05.11.17 – Приборы, системы и изделия
медицинского назначения

Редактор
Технически редактор
Корректор
Компьютерная верстка