

На правах рукописи



Аль Мабрук Мохаммад

**Аппаратно–программные средства и алгоритмы распознавания
патологий сердца на основе персептронных сетей**

Специальность 05.11.17 – Приборы, системы и изделия медицинского
назначения

**АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Рязань 2011

Работа выполнена в ГОУ ВПО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых» на кафедре биомедицинской инженерии

Научный руководитель

Заслуженный работник ВПО РФ,
доктор технических наук, профессор
Сушкова Людмила Тихоновна

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор
Полушин Петр Алексеевич

кандидат технических наук, доцент
Мельник Ольга Владимировна

Ведущая организация:

ВГУП ПО «Медтехника» г. Владимир

Защита состоится «23» сентября 2011г. в 12.00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.211.04 в ФГБОУ ВПО «Рязанский государственный радиотехнический университет» по адресу: 390005, г. Рязань, ул. Гагарина, д. 59/1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО «Рязанский государственный радиотехнический университет».

Автореферат разослан «28» июня 2011г.

Ученый секретарь

диссертационного совета Д 212.211.04
кандидат технических наук, доцент



А.Г. Борисов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Заболевания сердечно–сосудистой системы (ССС) являются наиболее распространенной причиной смертности и инвалидности во всем мире. По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) смертность от ССС составляет 30% в мире и 42% в Европе.

Анализ литературы показывает, что проблеме повышения эффективности диагностики ССС уделяется очень большое внимание, как в России, так и за рубежом. Постоянно совершенствуются существующие и разрабатываются новые методы и средства обработки электрокардиосигнала (ЭКС).

Одним из интенсивно развивающихся и перспективных направлений развития средств функциональной диагностики ССС является применение искусственных нейронных сетей (ИНС).

Большой вклад в развитие направления ИНС в медицине внесли многие ученые и специалисты, как в России, так и за рубежом, в том числе: Галушкин А.И., Мызников А.В., Россиев Д.А., Лохман В.Ф. Масалович А.И., Вахт W.G., Hoher M, Kestler H.A, Golovenkin S.E., Shulman V.A., Matjushin G.V. и др.

Для выявления заболеваний ССС разработаны модели искусственных нейронных сетей (ИНС). Использование нейросетевого анализа в клинической практике способствует повышению точности диагностики заболеваний сердечно-сосудистой системы.

С учетом сказанного актуальность данной диссертации определяется необходимостью разработки, исследования и внедрения современных нейросетевых технологий в аппаратно–программные комплексы функциональной диагностики сердца (АПК ФДС).

В связи с этим **целью данной работы** является повышение достоверности распознавания наиболее часто встречающихся патологий сердца путем совершенствования аппаратно – программных средств обнаружения патологий на основе применения технологии искусственных нейронных сетей.

Объектом исследования является автоматизированная система функциональной диагностики сердечно-сосудистой системы.

Предметом исследования является изучение возможности и целесообразности применения искусственной нейронной сети (ИНС) для распознавания наиболее часто встречающихся патологий сердца.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи**:

1. Провести анализ литературы по существующим методам автоматизированной обработки ЭКГ и возможностям применения нейронных сетей в задачах медицинской функциональной диагностики.
2. На основе теории ИНС выбрать и обосновать основные свойства и параметры искусственной нейросети.
3. Сформировать необходимый объем обучающих и тестовых ЭКГ–данных в «норме» и при наиболее часто встречающихся патологиях.

4. Разработать алгоритмы создания обучающих образов, а также алгоритмы создания обучающих и тестовых баз данных ЭКГ с наиболее часто встречающимися патологиями сердца.

5. Разработать специализированные алгоритмы автоматизации проведения экспериментальных исследований ИНС с целью обоснованного выбора варианта структуры ИНС в качестве основы нейросетевых блоков, а также определить для выбранных структур ИНС оптимальное число нейронов скрытого слоя.

6. Провести экспериментальные исследования разработанных специализированных нейросетевых блоков анализа патологий сердца и оценить эффективность их функционирования на основе выбранных критериев.

Область исследований. Решение научно – технической задачи инструментального развития современных медицинских технологий на основе создания аппаратно – программных комплексов функциональной медицинской диагностики (технические науки).

Методы исследования. Для решения поставленных в работе задач использовались методология системного анализа, теория искусственных нейронных сетей (ИНС) и распознавания образов, цифровая обработка сигналов, статистика и экспериментальные исследования. В процессе работы использовался программный пакет Neural Network Toolbox системы Matlab 7.

Научная новизна. В диссертации получены следующие результаты, характеризующиеся научной новизной:

1. Предложена модульная структура реализации блоков нейросетевого анализа ЭКГ для функциональной диагностики сердца и распознавания наиболее часто встречающихся патологий, отличающаяся повышенной чувствительностью и специфичностью к патологиям, малой ошибкой обучения и возможностью расширения числа анализируемых патологий.

2. Разработан алгоритм создания входных образов ЭКГ – записей на основе формы P–QRS–T комплекса, обеспечивающий специализированную предварительную обработку ЭКС.

3. Предложена процедура кодирования выходов для ИНС модульного типа, обеспечивающая функциональную связь между входами и выходами ИНС и выполнение ее целевой функции.

4. Разработаны методики нахождения оптимального количества нейронов скрытого слоя для двух вариантов структур ИНС на основе обеспечения равномерного распределения значений чувствительности и специфичности по каждой патологии, что способствует повышению эффективности работы ИНС и дает возможность выбора такого сочетания значений чувствительности и специфичности, при которых обеспечивается максимальная достоверность распознавания патологии.

Практическая значимость. Разработанные на основе многослойного перцептрона модульной структуры нейросетевые блоки распознавания патологий (8) и аритмий (12) обеспечивают: автоматический поиск и диагностику патологий сердца в режиме реального времени с чувствительностью 88% и 83% и специфичностью 98% и 99% при

распознавании патологий и аритмий соответственно, а также расширение функциональных возможностей без переобучения уже имеющихся модулей.

Разработанные методики и алгоритмы нахождения оптимального количества нейронов скрытого слоя для многослойного персептрона и структуры модульного типа обеспечивают возможность выбора такого сочетания значений чувствительности и специфичности, при которых достоверность выполнения целевой функции ИНС максимальна.

Экономическая и социальная значимость работы состоит в повышении эффективности функциональной диагностики ССС и улучшении качества медицинского обслуживания населения.

Достоверность научных положений. Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, подтверждается результатами тестирования на основе баз данных ЭКГ из архива PhysioNet (РТВ, МН-ВН), экспериментальных исследований и апробации разработанных специализированных нейросетевых блоков распознавания патологий сердца.

Основные научные положения, выносимые на защиту.

1. Структура ИНС модульного типа, состоящая из параллельно расположенных нейросетевых модулей, каждый из которых ориентирован на распознавание конкретной патологии. Такая структура повышает эффективность распознавания патологий сердца, а также позволяет расширить функциональные возможности путем развития структуры нейросетевого блока без переобучения готовых модулей.

2. Алгоритм создания входных образов кардиокомплексов на основе формы P-QRS-T комплекса обеспечивает получение полной информации о его форме и предварительную обработку ЭКС.

3 Разработанные на основе критериев чувствительности, специфичности и ошибки обучения методики и алгоритмы нахождения оптимального числа нейронов скрытого слоя ИНС модульного типа и «Многослойный персептрон» обеспечивают повышение эффективности нейросетевых блоков по распознаванию наиболее часто встречающихся патологий сердца.

Результаты внедрения работы. Основные теоретические и практические результаты работы внедрены в научно-исследовательской деятельности и в учебный процесс кафедры биомедицинской инженерии Владимирского государственного университета при подготовке специалистов по направлению **200300** – «Биомедицинская инженерия». Созданное методическое и программное обеспечение прошло апробацию в МУЗ 1-я Городская поликлиника г. Владимира, а также в Центре содействия укреплению здоровья студентов ВлГУ и в учебно-научном медицинском центре ВлГУ.

Личный вклад автора. В работах, опубликованных в соавторстве, автором предложены алгоритмы программ автоматизации исследований, проведено компьютерное моделирование, выполнены лично основные расчеты, произведен анализ результатов.

Апробация работы. Основные научные и практические результаты работы докладывались и обсуждались на: VII международной научно-технической конференции «Физика и радиоэлектроника в медицине и

экологии», Владимир, 2008г; IX международная научно-техническая конференция «Физик и радиоэлектроника в медицине и экологии» (ФРЭМЭ), (г. Владимир, 2010г); международная выставка «Медицина +» , 2010г, (г. Нижний Новгород, 2010г); международный конгресс «Кардиостим 2010», (г. Санкт – Петербург, 2010г); Всероссийская научная школа по биомедицинской инженерии, СПбГЭТУ, (г. Санкт – Петербург, 2010г); конференция с элементами научной школы для молодежи «Биомедсистемы 2010г», РГТУ,(г. Рязань, 2010г). 66-ая Всероссийская конференция с международным участием «Научная сессия, посвященная Дню радио», (г. Москва, 2011г)

Работа выполнялась при поддержке Гранта МК-2392.2009.8 Президента РФ молодым российским ученым.

Публикации. Самостоятельно и в соавторстве по материалам диссертации опубликованы 10 работ, в том числе 4 на всероссийских конференциях, 3 на международных конференциях, 3 статьи в профильных журналах, рекомендованных ВАК РФ.

Структура и объём диссертации. Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения, библиографического списка, включающего 120 наименований, и 3 приложений. Объём диссертации 159 страницы машинописного текста, 80 рисунков и 24 таблицы.

Основное содержание работы

Во введении. Обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель и основные задачи работы, перечислены предмет, объект, область и методы исследования, показана научная новизна и достоверность основных научных результатов работы, сформулированы основные положения, выносимые на защиту, показана практическая значимость работы и личный вклад автора, приведены сведения об апробации работы, реализации и внедрении ее результатов, а также сведения о публикациях по тематике работы.

В первой главе на основе обзора литературы проведен анализ методов обработки электрокардиосигнала, а также современных подходов к автоматизированной обработке ЭКГ. Показана перспективность применения ИНС в задачах ЭКГ-анализа. В заключение главы определены цель и задачи исследования.

Анализ литературы показал, что в настоящее время в области профилактической медицины в качестве аппаратно-программного комплекса функциональной диагностики сердца, широко используется «Кардиовизор-6С». Данная система также использует отведения ЭКГ от конечностей, что делает её наиболее близким аналогом разрабатываемых нейросетевых блоков (НБ).

Во второй главе диссертации проведён анализ топологий и структур ИНС, функций активации, методов и алгоритмов обучения нейросетей, а также видов нормализации входных образов. Это позволило выработать научно-обоснованные требования, параметры и характеристики ИНС для задачи создания НБ, а именно: **функция активации** - сигмоидальная логистического типа; **топология ИНС** - сеть без обратных связей; **структура ИНС** -

многослойный персептрон (рис. 1), для которой характерно последовательное выделение признаков из исходного образа, что способствует эффективному распознаванию.

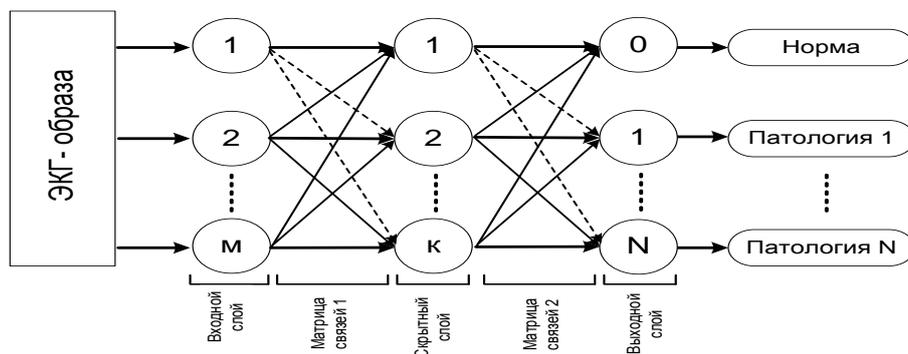


Рис.1. Структура многослойного персептрона для распознавания патологий по ЭКС (M – количество элементов образа ЭКС, K – число нейронов, N количество анализируемых патологий).

Проведенный сопоставительный анализ основных **алгоритмов обучения** ИНС позволил выбрать алгоритм обратного распространения ошибки, обладающий способностью минимизировать ошибки и являющийся наиболее подходящим для нейросетей с технологией обучения с учителем в задачах классификации образов.

В качестве **способа нормирования** входных данных ИНС (диапазон $[0..1]$) выбрана линейная нормализация входных образов, т.к. она не искажает форму сигнала и не добавляет в него новых признаков в отличие от других видов нормализации.

Одним из главных параметров ИНС является количество нейронов в скрытых слоях, которое определяет соотношение точности и обобщающей способности системы. Поэтому была поставлена задача проведения вычислительного эксперимента с целью определения оптимального числа скрытых нейронов и лучшего варианта построения структуры ИНС, основанной на многослойном персептроне.

В третьей главе рассматривается вопрос разработки алгоритмов распознавания патологий сердца на основе ИНС, а именно: разработка алгоритмов программ для создания и подготовки образов ЭКС; алгоритмов создания обучающих и тестовых БД патологий, необходимых для исследования ИНС; а также алгоритмы автоматизации исследования структур ИНС. Кроме того, рассмотрены 2 варианта построения структурной организации ИНС, разработаны процедуры кодирования соответствия входов и выходов ИНС в режиме обучения и тестирования, а также основные этапы экспериментального исследования эффективности их работы.

Необходимый объем обучающих и тестовых ЭКГ – данных в «норме» и при патологии был сформирован на основе баз данных Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) и MIT-BIH Arrhythmia Database из архива PhysioBank. **Выбраны 8 типов ЭКС** (Норма; Инфаркт миокарда; Блокады ножки пучка Гиса; Кардиомиопатия; Сердечная недостаточность; Гипертрофия миокарда;

Пороки клапанов сердца) и **12 типов ЭКС**, один из которых соответствует - нормальному ритму, а остальные – аритмиям (Блокада левой ножки пучка Гиса; Блокада правой ножки пучка Гиса; Предсердная экстрасистолия; Аберрированная предсердная экстрасистолия; Атриовентрикулярная экстрасистолия; Желудочковая экстрасистолия; Слияние желудочкового и нормального сокращений; Атриовентрикулярная блокада; Пропуск наджелудочкового сокращения; Сокращение, вызванное электрокардиостимулятором; Слияние вызванного и собственного сокращения сердца).

Для работы и обучения ИНС на вход необходимо подать сигнал определённой формы - образ электрокардиосигнала, соответствующий той или иной патологии. От алгоритма подготовки таких образов зависит качество распознавания патологий ССС. Поэтому в работе была определена технология предварительной обработки ЭКС.

Алгоритм создания образов для БД патологий сердца включает в себя два вспомогательных алгоритма (подпрограммы): **подготовки образов** (рис.2) и **создания БД образов** патологий сердца (представлен в диссертации).

Из рисунка 2 видно, что вначале происходит инициализация переменных, затем осуществляется цикл перебора R зубцов ЭКГ-записи. R зубец является более выраженным и самым высокоамплитудным и высокочастотным, что обеспечивает его стабильное обнаружение и точную локализацию на временной оси, а также он доминирует на большинстве отведений ЭКГ. Исходя из параметров нормальной ЭКГ (известных в литературе) были определены длительности левой и правой частей ЭКГ от и после появления R зубца, а именно: 0.35с и 0.5с соответственно. В результате временное окно для анализа ЭКС составляет 0,85с.

Проведенные исследования современных регистраторов ЭКГ показали, что для совместимости разрабатываемых нейросетевых блоков с большинством регистраторов ЭКГ целесообразно выбрать частоту дискретизации входных образов 150 Гц. Сигналы с большей частотой дискретизации должны быть искусственно преобразованы до выбранной частоты дискретизации (блок изменения частоты дискретизации ЭКГ на рис.2).

Исходя из полученных значений параметров временного окна $\Delta t = 0,85с$ и частоты дискретизации $f_{\text{дис}}$, определено количество точек M, соответствующих количеству входов ИНС, а именно:

$$M = \Delta t \cdot f_{\text{дис}} = 0,85 \cdot 150 \approx 128.$$

С помощью описанных алгоритмов была сформирована БД патологий сердца, составленная на основе записей кардиоциклов, сгруппированных в 8 основных классов, соответствующих известным видам заболеваний сердца. Деление по основным классам патологий осуществлено с целью определения людей в группы риска по наиболее часто встречающимся патологиям сердца. Состав созданной БД патологий сердца приведен в таблице 1.

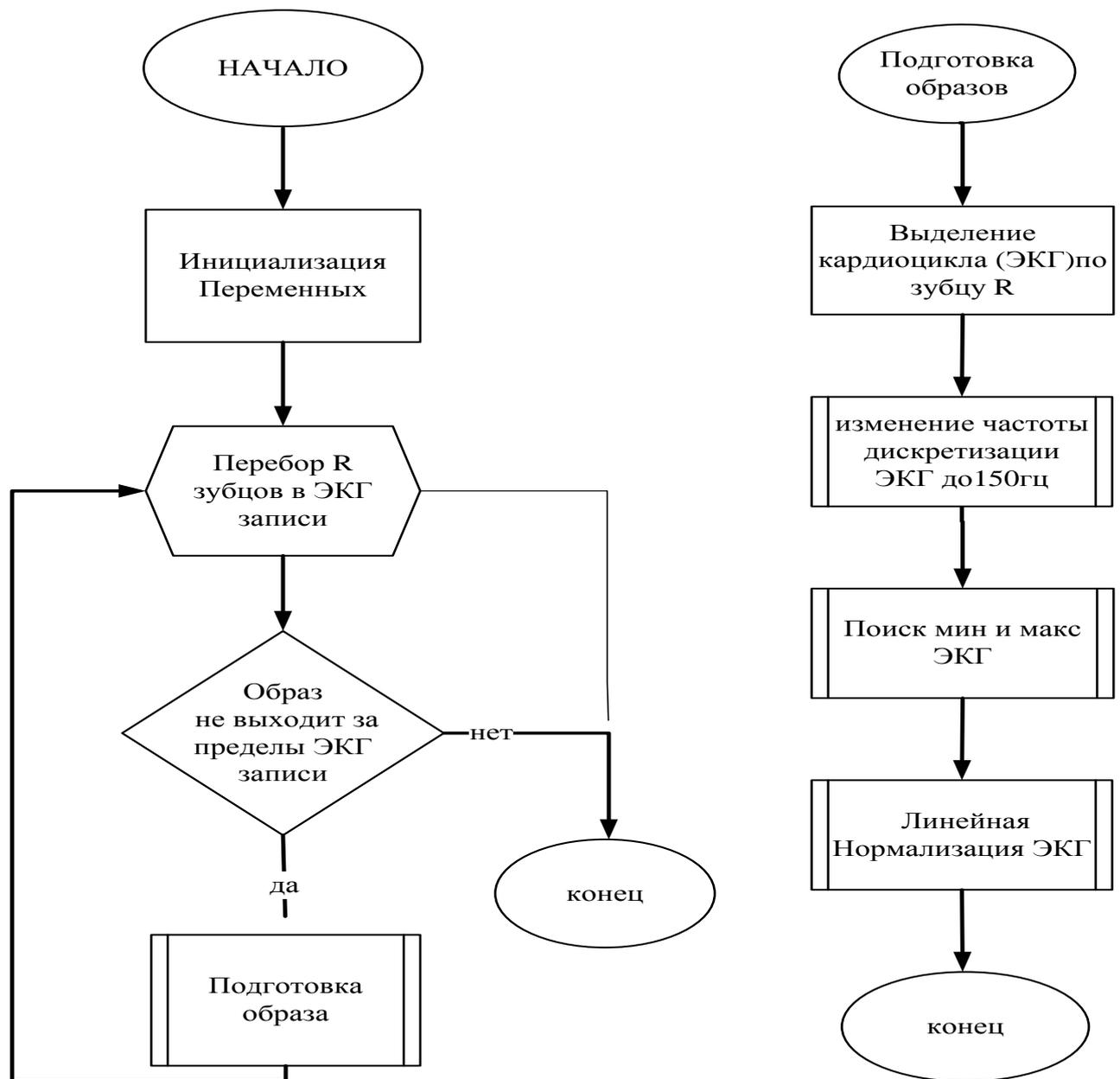


Рис.2 Алгоритм подпрограммы подготовки образов ЭКГ записей для БД патологий сердца.

Табл.1. Состав базы данных патологий сердца

Количество выходов ИНС	Общей	Количество образов ЭКГ	Обучающая БД	Тестовая БД
8		19546	10223	9323

Разработанный алгоритм подпрограммы для создания образов аритмий сердца представлен в диссертации. На основе записей кардиоциклов была составлена БД образов аритмий, сгруппированных в 12 основных классов (табл.2).

Табл. 2. Состав базы данных аритмий сердца

Количество выходов ИНС	Общей	Количество образов ЭКГ	Обучающая БД	Тестовая БД
12		4703	9279	4576

Разработан алгоритм программы создания обучающих и тестовых БД для исследования ИНС. С помощью обучающей БД проводилась оценка средней квадратичной ошибки обучения в зависимости от количества нейронов скрытого слоя, а тестовой БД - оценка чувствительности и специфичности распознавания патологий.

Для распознавания патологий сердца в данной работе предложен модульный вариант структуры построения нейросетевых блоков (рис. 3), включающий в себя несколько параллельно расположенных нейросетевых модулей, построенных на основе структуры многослойного персептрона.

Преимуществом данной структуры является концентрация ресурсов каждого модуля на распознавание только одной патологии, что способствует уменьшению вероятности ошибки неверного заключения для всей системы в целом, а также позволяет расширять функциональные возможности ИНС путем увеличения количества нейросетевых модулей для распознавания новых патологий без переобучения всей системы.

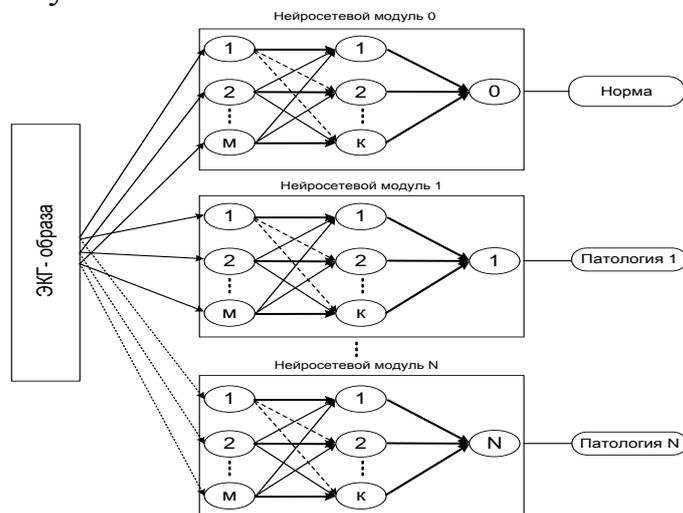


Рис.3. Модульный вариант построения нейронной сети для распознавания патологий сердца по ЭКС. (M – количество элементов образа ЭКС, K – число нейронов, N – количество анализируемых патологий).

С целью обоснованного выбора варианта построения нейросетевых блоков распознавания патологий сердца в работе проведено исследование и сопоставительный анализ обоих вариантов структуры ИНС. С помощью моделирования работы рассмотренных типов ИНС была разработана процедура кодирования соответствия входов и выходов, исследуемых ИНС, обеспечивающая выполнение их целевой функции.

Для обучения и тестирования нейронной сети типа «многослойный персептрон» (рис.1) предложена структура соответствия состояний его входов и выходов (процедура кодирования), приведённая в таблице 3. Здесь: $X_1...X_M$ – вектор образов ЭКС, $M=128$ входов ИНС, Y_0 – выход, соответствующий норме, $Y_1...Y_N$ – выходы, соответствующие патологиям. Причем, для случая распознавания патологий $N=8$, а для случая распознавания аритмий $N=12$.

Очевидно, что чем больше объем обучающей БД, тем сложнее построение ИНС и больше затраты вычислительных ресурсов компьютера.

Таблица 3. Структура соответствия состояния входов и выходов ИНС многослойного персептрона в режиме обучения и тестирования.

X_1	X_2	...	X_M	Y_0	Y_1	...	Y_N
Образы ЭКС, соответствующие норме				1	0	...	0
				⋮	⋮	...	⋮
				1	0	...	0
Образы ЭКС, соответствующие патологии 1				0	1	...	0
				⋮	⋮	...	⋮
				0	1	...	0
...							
Образы ЭКС, соответствующие патологии N				0	0	...	1
				⋮	⋮	...	⋮
				0	0	...	1

Для модульной структуры ИНС (рис.3) используется раздельное обучение каждого нейросетевого модуля, что требует создания нескольких баз данных для каждой патологии в отдельности. В качестве примера в таблице 4 приведена структура соответствия состояния входов и выходов ИНС (процедура кодирования) для режима обучения и тестирования БД для j -той патологии (j -тый модуль). Здесь: $X_1 \dots X_M$ – вектор образов ЭКС, Y_j – выход, соответствующий j -той патологии.

Табл. 4. Структура соответствия состояния входов и выходов ИНС модульного типа для j -той патологии в режиме обучения и тестирования

X_1	X_2	...	X_M	Y_j
Образы ЭКС, соответствующие норме и патологиям, за исключением j -той				0
				⋮
				0
Образы ЭКС, соответствующие j -той патологии				1
				⋮
				1

Очевидно, что в этом случае обучение каждого нейросетевого модуля происходит отдельно, что является более удобным с точки зрения распределения времени и менее требовательно к вычислительным ресурсам компьютера.

Для оценки эффективности работы ИНС в качестве критериев были выбраны: средняя квадратичная ошибка обучения; чувствительность и специфичность.

Для автоматизации экспериментальных исследований ИНС на основе структуры многослойный персептрон и структуры модульного типа, были **разработаны** соответствующие **алгоритмы и программы**, приведенные в диссертации.

Реализация алгоритмов обеспечивает перебор числа скрытых нейронов с шагом 10 и запуск программы исследования ИНС с выбранным числом скрытых нейронов, в процессе выполнения которой формируется ИНС с заданными параметрами, осуществляется её обучение методом обратного

распространения ошибки и затем тестирование, после чего определяются показатели чувствительности, специфичности и ошибки обучения.

Для структуры ИНС модульного типа исследование ИНС с выбранным числом скрытых нейронов **выполняется для каждой патологии (в т.ч. и аритмии) отдельно.**

Экспериментальные исследования работы ИНС для распознавания патологий сердца проводятся поэтапно в соответствии со структурой, представленной в диссертации.

Вследствие случайности распределения весовых коэффициентов синапсов ИНС при инициализации, в работе предусмотрено усреднение значений чувствительности и специфичности за несколько полных циклов обучения (не менее 3). Поэтому в процессе исследования структур ИНС «Многослойный персептрон» и модульного типа процедуры обучения и тестирования с помощью созданных БД образов патологий повторяются трижды для каждого значения числе нейронов скрытого слоя. Это позволяет определить зависимости чувствительности и специфичности от числа скрытых нейронов ИНС и оценить эффективность исследуемой структуры ИНС на основе построенных графиков.

Анализ литературы показывает, что вопрос **нахождения оптимального числа нейронов скрытого слоя** не имеет однозначного решения по причине отсутствия устоявшейся методики. В связи с этим в данной работе для решения этой задачи предлагается **методика** в основе, которой лежит использование критериев оценки эффективности работы ИНС: чувствительность, специфичность и ошибка обучения. В этом случае для нахождения оптимального числа нейронов скрытого слоя ИНС по структуре «Многослойный персептрон» необходимо произвести исследование показателей чувствительности и специфичности всех групп выходов.

Показатели чувствительности и специфичности в идеале должны быть близки к 100%. В реальных условиях при решении задач диагностики, система должна выбрать один из нескольких вариантов диагноза. При этом желательно иметь значения критериев чувствительности и специфичности системы по всем вариантам диагноза равномерно распределенными. В связи с этим была разработана методики нахождения число нейронов скрытого слоя в соответствие с алгоритмом, представленным на рисунке 4.

В случае структуры модульного типа каждая патология распознается отдельным модулем нейронной сети (нейромодулем). Поэтому поиск оптимального значения нейронов скрытого слоя производится по каждому выходу отдельно. При этом число нейронов скрытого слоя определяется исходя из сопоставления значений критериев (чувствительности и специфичности) с целью выявления критерия с меньшим значением и последующего определения количества нейронов скрытого слоя, соответствующего максимальному значению данного критерия. После этого определяется значение другого критерия, соответствующего полученному количеству нейронов скрытого слоя. На основе найденного значения числа нейронов скрытого слоя далее определяется ошибка обучения ИНС.

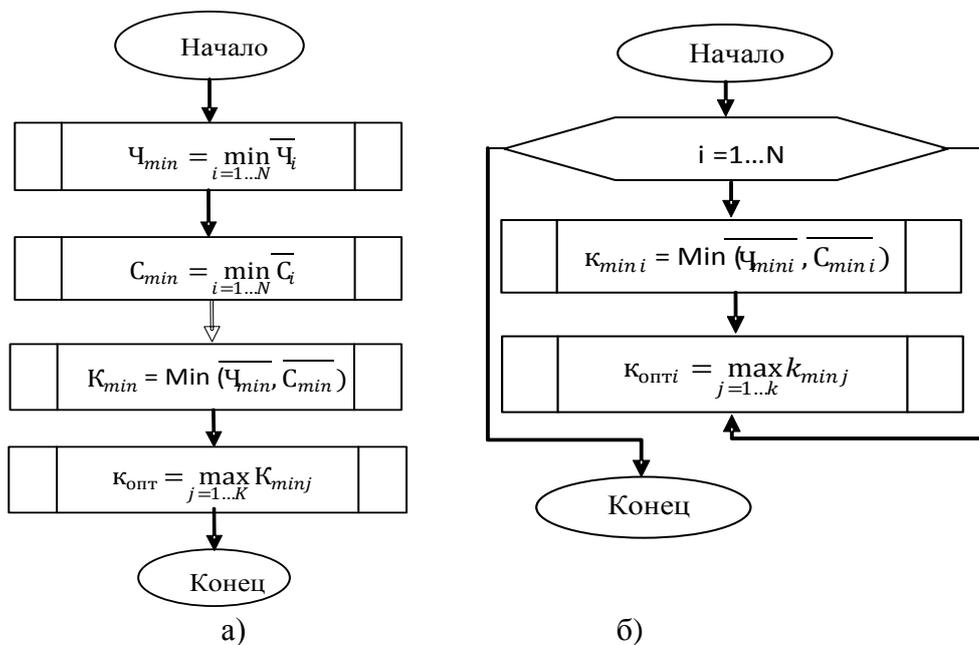


Рис 4. Алгоритмы методики нахождения оптимального число нейронов скрытого слоя для структур ИНС а) многослойный перцептрон (МП); б) МП модульного типа.

Разработанные методики и соответствующие алгоритмы нахождения оптимального количества нейронов скрытого слоя для исследуемых структур ИНС использованы в работе при проведении экспериментальных исследований этих структур для БД «Патологии» и «Аритмии сердца». Такой подход дает возможность выбора такого сочетания значений чувствительности и специфичности, при которых достоверность диагностики будет максимальна.

В четвертой главе приводятся результаты экспериментальных исследований, проводится сопоставительный анализ эффективности распознавания патологий ИНС «Многослойный перцептрон» и структуры модульного типа.

На рисунке 5 показан пример результатов экспериментальных исследований ИНС «Многослойный перцептрон» при распознавании патологии сердца, а на рисунке 6 показана зависимость ошибки обучения от количества нейронов скрытого слоя.

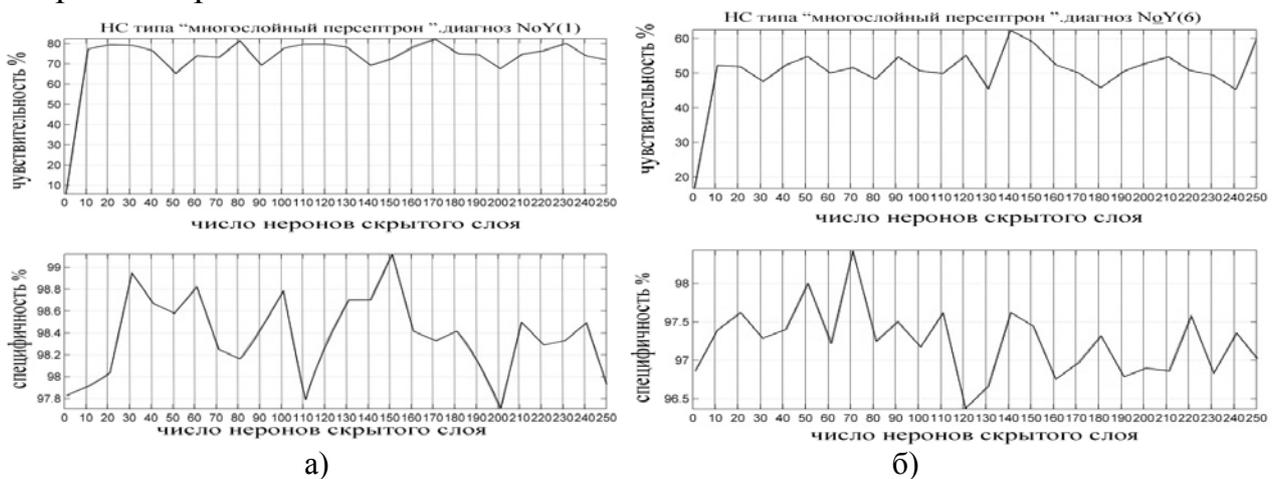


Рис.5 Значения чувствительности и специфичности для (а) первого выхода и (б) шестого выхода.

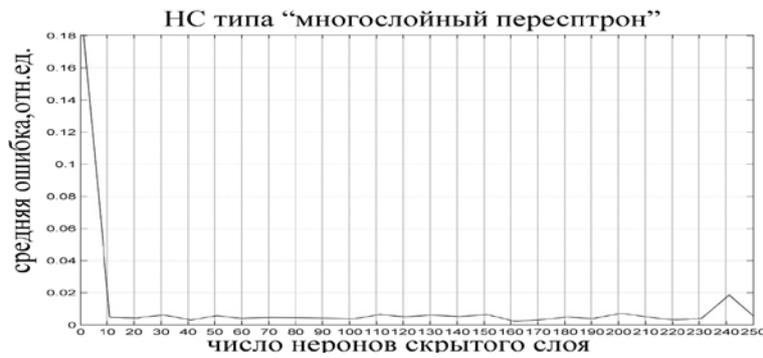


Рис.6. Зависимость ошибки обучения от количества нейронов скрытого слоя.

Анализ приведенных в диссертации зависимостей чувствительности и специфичности для разных выходов исследуемой ИНС показал, что показатель чувствительности шестого выхода минимален среди показателей чувствительности и специфичности других выходов, т.е. является параметром K_{min} . Поэтому для нахождения оптимального количества нейронов скрытого слоя, находим максимум параметра у шестого выхода и соответствующее ему значение количества нейронов скрытого слоя. Из рисунка 5б видно, что максимуму чувствительности соответствует 140 нейронов скрытого слоя. Далее определяются значения критериев чувствительности, специфичности и средней ошибки обучения, соответствующие тому же числу нейронов скрытого слоя (140) для остальных выходов ИНС.

В случае структуры модульного типа, полученные значения числа нейронов скрытого слоя можно считать оптимальными, т.к. они соответствуют минимальной разнице между значениями чувствительности и специфичности. Далее для найденного значения числа нейронов скрытого слоя определяется ошибка обучения ИНС. В качестве примера на рисунке 7 приведено значение чувствительности и специфичности для первого и шестого выходов, а на рисунке 8- зависимость ошибки обучения от количества нейронов скрытого слоя для этих же выходов.

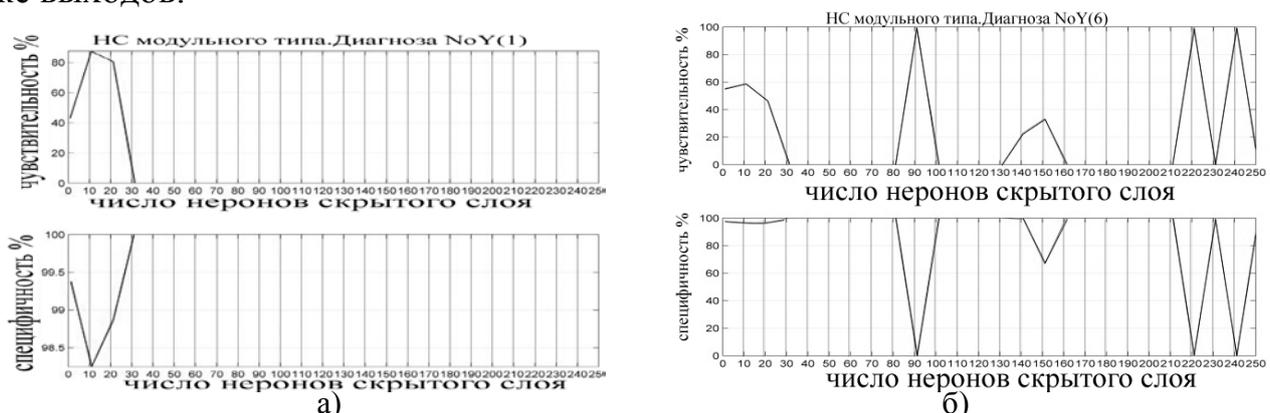


Рис.7. Значение чувствительности и специфичности для первого выхода (а) и шестого выхода (б).

Из рисунка 7 видно, что для **первого выхода** при чувствительности 90 и специфичности 98,3 оптимальное число нейронов скрытого слоя составляет 10, в то время как для **шестого выхода** при чувствительности 59,9 и

специфичности 99,8 оптимальное число нейронов скрытого слоя также составляет 10.

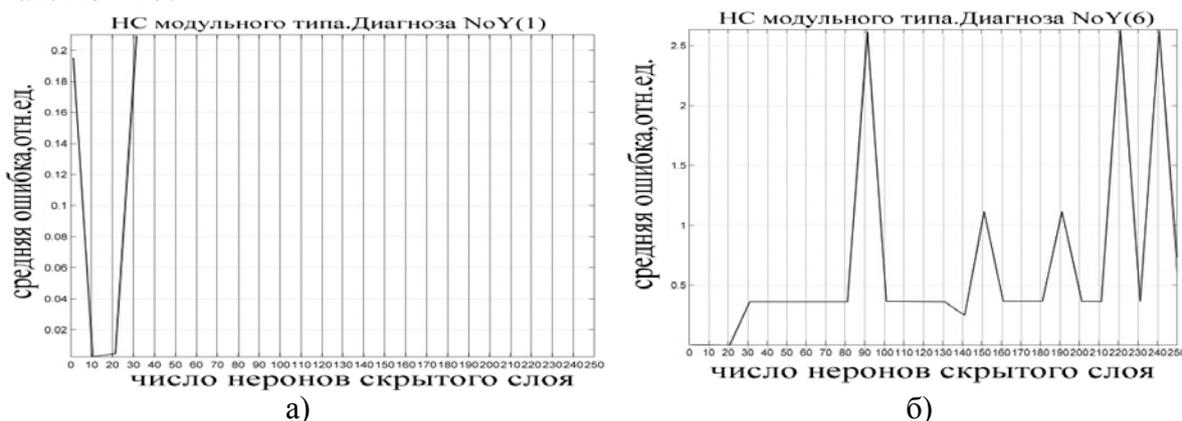


Рис.8. Зависимость ошибки обучения от количества нейронов скрытого слоя для (а) первого выхода, (б) шестого выхода.

При оптимальном числе нейронов скрытого слоя **первого и шестого выходов** 10, ошибка обучения составляет величину порядка 0,0024 (рис.8).

Результаты оценки средней чувствительности и специфичности, а также ошибки обучения исследуемых структур построения ИНС для БД «Патологии сердца» приведены в таблице 5.

Табл.5. Сопоставительные данные результатов обучения и тестирования ИНС при распознавании патологий сердца.

Тип структуры ИНС	Средняя чувствительность %	Средняя Специфичность %	Средняя ошибка обучения
Многослойный персептрон	79	98	0,007
Модульная структура	88	98	0,005

Результаты проведенных экспериментальных исследований двух возможных вариантов структурного построения ИНС при распознавании аритмий представлены в диссертации, а результаты сопоставительного анализа исследованных ИНС по эффективности распознавания аритмий приведены в таблице 6.

Табл.6. Сопоставительные данные результатов обучения и тестирования ИНС при распознавании аритмий.

Тип структуры ИНС	Средняя чувствительность %	Средняя Специфичность %	Средняя ошибка обучения
Многослойный персептрон	80,5	99,32	0,007
Модульная структура	83	99,56	0,005

Анализ полученных экспериментальных данных показывает, что наибольшей эффективностью распознавания патологий и аритмий сердца обладает модульная структура построения нейросетевого блока. Поэтому она

была выбрана в качестве основы построения нейросетевого блока для аппаратно-программного комплекса анализа ЭКС.

Результаты тестирования и апробации модульной структуры ИНС показали более высокую достоверность разделения кардиокомплексов на классы «норма» и «патология» в сравнении с известным и используемым в практическом здравоохранении прибором «Кардиовизор-6С». В частности, ИНС модульного типа обеспечила чувствительность на 5%, а специфичность – на 26% выше, чем «Кардиовизор-6С».

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

Диссертационная работа посвящена решению научно технической задачи, связанной с инструментальным развитием современных медицинских технологий профилактики сердечно-сосудистых заболеваний на основе использования нейросетевых блоков распознавания наиболее часто встречающихся патологий сердца. Все поставленные в работе задачи выполнены.

В ходе проведенных исследований получены следующие основные результаты.

1. Анализ теории ИНС позволил осуществить обоснованный выбор свойств и параметров ИНС для разработки и исследования нейросетевых блоков распознавания патологий сердца,

2. На основе базы данных ЭКГ Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) и базы данных аритмий MIT-BIH Arrhythmia Database из архива PhysioBank сформирован необходимый объем обучающих и тестовых ЭКГ- данных в «норме» и при патологиях. Выбраны 8 типов ЭКС, в том числе: «норма» и наиболее часто встречающиеся патологии, а также 12 типов ЭКС, один из которых соответствует нормальному ритму, а остальные соответствуют наиболее часто встречающимся видам аритмий.

3. Разработаны алгоритмы создания образов кардиокомплексов на основе формы P-QRS-T комплекса, обеспечивающие специализированную предварительную обработку ЭКС, благодаря которой формируется образ кардиокомплекса с заданными частотно-временными параметрами и определяется количество входов ИНС.

4. Разработаны алгоритмы для создания обучающих и тестовых баз данных ЭКГ (БД «Патологии и Аритмии»), используемые не только в режимах обучения и тестирования нейросетевых блоков, но и для оценки эффективности их работы на основе принятых критериев: средней квадратичной ошибки обучения, чувствительности и специфичности в зависимости от числа нейронов скрытого слоя.

5. На основе проведенных экспериментальных исследований и критериев оценки эффективности ИНС обоснован выбор структуры искусственной нейросети **модульного типа** как основы нейросетевых блоков распознавания патологий сердца.

6. Проведенный по результатам экспериментальных исследований сопоставительный анализ двух вариантов структур ИНС показал, что наибольшей эффективностью распознавания **патологий** обладает модульная

структура ИНС, для которой при одинаковой средней специфичности – 98%, средняя чувствительность оказалась на 10% выше, чем у многослойного персептрона, а средняя ошибка составила величину порядка 0,0016 (0,0056 – в случае многослойного персептрона).

В случае распознавания **аритмий** модульная структура также показала хорошие результаты. Здесь средняя чувствительность составила 83% (80,5% в случае многослойного персептрона), средняя специфичность – 99,56% (99,32% в случае многослойного персептрона), а средняя ошибка обучения составила величину порядка 0,005 (0,007 – в случае многослойного персептрона).

7. Разработаны методики и соответствующие алгоритмы нахождения оптимального числа нейронов скрытого слоя для структур ИНС модульного типа и «Многослойной персептрон», с помощью которых обеспечивается достижение наиболее равномерного распределения по выходам ИНС критериев достоверности наличия или отсутствия патологии, т.е. максимальная достоверность диагностики.

8. Сопоставительный анализ эффективности распознавания патологий сердца с помощью нейросетевого блока модульной структуры и с помощью «Кардиовизор-6С» показал, что ИНС модульного типа обеспечивает более высокую достоверность разделения ЭКС на классы «норма» и «патология», а именно: чувствительность на 5%, специфичность – на 25% выше, чем «Кардиовизор-6С».

Разработанные и исследованные специализированные нейросетевые блоки распознавания патологий сердца могут использоваться в системах скринингового автоматизированного анализа функционального состояния ССС, при проведении массовых экспресс - исследований с целью выделения «групп риска», а также в программах автоматизированной расшифровки суточной записи ЭКГ.

СПИСОК НАУЧНЫХ РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ.

Научные работы в журналах из перечня ВАК РФ

1. Аль Мабрук, М. Результаты исследования нейронных сетей в задачах распознавания патологических изменений электрической активности сердца [текст]/ Л.Т. Сушкова, Р.В. Исаков, Аль Мабрук М. Ю.А. Лукьянова// Биомедицинская радиоэлектроника. №7, 2010г., С.9-13.
2. Аль Мабрук, М. Аппаратно - программный комплекс нейросетевого анализа электрокардиосигнала [текст] / Л.Т. Сушкова, Р.В. Исаков, Аль Мабрук М. // Всероссийского научно-технического журнала «Проектирование и технология электронных средств» 2011г. С.61-66.
3. Аль Мабрук М. Экспериментальный нейросетевой кардиоанализатор [текст] / Л.Т. Сушкова, Р.В. Исаков, Аль Мабрук М. // Медицинская техника, Москва 2011г. С.18-27.

Научные работы в других изданиях

4. Аль Мабрук М. Блок параллельной регистрации ЭЭГ и ЭКГ сигналов [текст]/ / Л.Т. Сушкова, Р.В. Исаков, Аль Мабрук М. // VII

- Международная научно-техническая конференция «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии» ФРЭМЭ ' 2008г. С.131-135.
5. Аль Мабрук М. Варианты построения структуры нейронных сетей для распознавания патологии сердца [текст] / Р.В. Исаков, Аль Мабрук М.,// IX Международная научно-техническая конференция «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии» ФРЭМЭ ' 2010г. С.157-161
 6. Аль Мабрук М. Результаты исследования нейронных сетей в задачах распознавания патологий сердца [текст] / Р.В. Исаков, Аль Мабрук М., Ю.А. Лукьянова // IX Международная научно-техническая конференция «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии» ФРЭМЭ ' 2010г. С. 250-254.
 7. Аль Мабрук М. Проблемы исследования нейронных сетей в автоматизированном анализе электрокардиосигналов [текст] /Р.В. Исаков, Аль Мабрук М., Ю.А. Лукьянова //Вестник Аритмологии, приложение А, 2010г. С. 175.
 8. Аль Мабрук М. Результаты исследования нейронных сетей в задачах распознавания аритмий сердца [текст] / Р.В. Исаков, Аль мабрук М.,// Сборник трудов молодых ученых «Всероссийская научная школа по биомедицинской инженерии», БМИ - СПбГЭТУ 2010г. С 163-167.
 9. Аль Мабрук М. Обработка кардиоциклов электрокардиограммы при создании образов для нейросетевого анализа [текст] / Р.В. Исаков, Аль Мабрук М.,// XXIII всероссийскую научно-техническую конференцию студентов, молодых ученых и специалистов «Биотехнические, медицинские и экологические системы и комплексы» БИОМЕДСИСТЕМЫ – Рязань 2010г. С.242-246.
 10. Аль Мабрук М. Комплекс обработки и анализа биоэлектрических сигналов [текст] / Р.В. Исаков, Аль Мабрук М., Салех М. // 66-ую Всероссийскую конференцию с международным участием «Научная сессия, посвященная Дню радио», г. Москва 2011г. С. 408-410.

Аль Мабрук Мохаммад

**Аппаратно-программные средства и алгоритмы
распознавания патология сердца на основе персептронных сетей**

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать 22.06.2011. Формат бумаги 60x84 1/16
Бумага офсетная . Печать офсетная. Тираж 110 экз.
Заказ № 1610

Отпечатано с готового оригинал-макета
в АНО «Типография на Нижегородской»
600020, г. Владимир, Большая Нижегородская, 88Д