

На правах рукописи



Белякова Анна Сергеевна

**АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ДИАГНОСТИКИ И
ПРОГНОЗА СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ
НА ОСНОВЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОРТРЕТОВ СЕРДЦА И
ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПАЦИЕНТОВ**

Специальность: 05.11.17 – Приборы, системы и изделия медицинского
назначения

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Муром - 2016

Работа выполнена на кафедре «Информационные системы» Муромского института (филиала) ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»

Научный руководитель:

Садыков Султан Сидыкович
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты:

Бодин Олег Николаевич, доктор технических наук, профессор, зам. зав. кафедрой Информационно-измерительной техники и метрологии ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет», г. Пенза

Каплан Михаил Борисович, кандидат технических наук, доцент кафедры Информационно-измерительной и биомедицинской техники, ФГБОУ ВО Рязанский государственный радиотехнический университет, г. Рязань

Ведущая организация:

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет» (ПГТУ), г. Йошкар-Ола (кафедра Радиотехнических и медико-биологических систем)

Защита состоится **17 февраля 2017 г. в 12.00** на заседании диссертационного совета Д212.211.04 в ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет» по адресу: 390005, г. Рязань, ул. Гагарина, 59/1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет» и на официальном сайте университета www.rsreu.ru.

Автореферат разослан «__» _____ 2016 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,
д-р. техн наук, доцент



Г.В. Овечкин

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Одной из самых болевых медико-демографических проблем социального развития современной России является высокий уровень смертности населения, основной причиной которого выступают сердечно-сосудистые заболевания (ССЗ). В Европе от болезней сердца и сосудов ежегодно умирают 4,35 миллиона человек, что соответствует 23% от общего числа летальных исходов. В России этот же показатель достигает 56,6% и неуклонно растет.

Использование современных компьютерных систем не решает эту проблему, так как существующие системы диагностики кардиологических заболеваний, такие как МУСIN, ЕМУСIN, МОДИС, РЕПРОКОД, СКРИНФАКС имеют узкую специализацию. Организация принятия решения в них в основном решена на базе семантических сетей, что является неприемлемым и неудобным подходом при интенсивно увеличивающемся количестве параметров ССЗ, получаемых в ходе обследования пациентов.

Система скрининга сердца компьютерная Кардиовизор относится к группе последних распространенных в РФ разработок российских ученых в области диагностики заболеваний сердца. Он реализует алгоритмы дисперсионного анализа ЭКГ сигнала и формирует по его результатам цветные изображения – портрет сердца пациента, окраска которого является индикатором патологических изменений уже на ранних стадиях заболеваний. Их анализ визуально является малообъективным в связи с особенностями человеческого зрения, а для автоматизированной обработки требуются алгоритмы анализа признаков изображений портрета сердца и их интерпретации при различных ССЗ.

Подходы к диагностике и прогнозированию ССЗ представлены в работах Киликовского В.В., Корневского Н.А., Филиста С.А., Кузнецова Д.А., Рябыкиной Г.В., Сула А.С., Иванова Г.Г., Schwartz P.J., Malliani A., Arora N, Bruce G, Myers J и др.

Несмотря на улучшение технического оснащения медицинских учреждений, значительного снижения уровня смертности от ССЗ пока не наблюдается. Точная и объективная диагностика и прогнозирование ССЗ требуют анализа большого количества разнообразной информации, получаемой в ходе кардиологических лабораторных и инструментальных обследований, а также индивидуальных параметров пациента. Однако на практике это редко выполняется, поскольку многие медицинские учреждения России не имеют современных средств информационных технологий для анализа указанных данных, и часто диагностика заболевания и возможных исходов осуществляется на основе небольшого количества традиционных и наиболее доступных, понятных кардиологу параметров состояния сердца.

Поэтому возникает задача создания диагностических медицинских информационных систем в кардиологии, позволяющих анализировать данные, полученные при обследованиях, помогающих врачу при формировании диагноза и оценке прогноза ССЗ, представляющих результаты своей работы в привычном и понятном виде.

Таким образом, разработка алгоритмов и математических моделей диагностики и прогноза ССЗ и построение на их основе автоматизированной информационной системы для врача-кардиолога является важной актуальной научно-технической и социальной задачей.

Целью диссертационной работы является создание и применение в медицинской практике автоматизированной системы диагностики и прогноза сердечно-сосудистых заболеваний

на основе статистических характеристик портретов сердца, индивидуальных параметров пациентов, методов распознавания образов и регрессионного анализа, обеспечивающей повышение достоверности диагноза и построение математических моделей состояния сердца.

Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

- Обзор и анализ алгоритмов, методов, систем обработки и анализа кардиологических данных для диагностики ССЗ;
- Разработка и реализация новой методики диагностики заболеваний сердца, позволяющей максимально использовать кардиологические данные системы Кардиовизор для обеспечения повышения вероятности правильного определения ССЗ;
- Выбор, реализация и исследование методов предварительной обработки и выделения множества признаков, формирование наиболее значимых параметров портрета сердца и других кардиологических данных путем уменьшения их количества;
- Построение математических моделей заболеваний ССС для различных групп населения, предназначенных для описания заболеваний сердца и их использования при создании индивидуальных моделей прогноза изменений в работе сердца;
- Построение индивидуальных математических моделей прогноза будущих состояний ССС пациента на основе анализа динамики изменения кардиологических данных в процессе лечения;
- Создание системы диагностики и прогноза ССЗ, проведение экспериментальных исследований на тестовых результатах обследований пациентов (с известными диагнозами);
- Практическое применение разработанной системы в кардиологическом отделении лечебно-профилактического учреждения при обследовании и лечении реальных пациентов (с неизвестными диагнозами).

Объект исследования – цветные RGB изображения портрета сердца пациента, получаемые при обследовании с помощью системы Кардиовизор и их признаки при различных ССЗ в совокупности с индивидуальными параметрами пациента.

Методы исследования. При выполнении диссертационной работы использованы методы математической статистики, теории вероятности, теории принятия решений, цифровой обработки изображений, дискретной математики и распознавания образов.

Научная новизна работы:

1. Установлено, что анализ статистических характеристик первого и второго порядка портретов сердца и индивидуальных параметров пациентов с помощью методов распознавания позволяет обеспечить вероятность правильного диагноза сердечно-сосудистых заболеваний от 0,88 до 0,98.

2. Предложены индивидуальные и групповые математические модели состояния сердечно-сосудистой системы, позволяющие прогнозировать будущие изменения состояния сердца пациентов с вероятностью не менее 73% на ближайшее время (2-3 месяца) и с вероятностью не менее 59% на отдаленное время (12 месяцев и более).

3. Методика диагностики и прогноза сердечно-сосудистых заболеваний, основанная на анализе статистических характеристик портретов сердца и индивидуальных параметров пациентов методами распознавания образов и построении математических моделей мето-

дом регрессионного анализа, машинная реализация которой позволяет повысить вероятность правильной диагностики основных заболеваний сердца более чем на 15% ,а прогноз развития заболеваний – на 10% и более.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

- при решении задач диссертации результативно использованы комплексы базовых методов теории цифровой обработки изображений и распознавания образов, математической статистики и теории вероятностей;

- изложены новые методика, система, позволяющие использовать математические модели для диагностики и индивидуального прогнозирования ССЗ;

- установлено отсутствие подходов, алгоритмов и систем, позволяющих диагностировать ССЗ с использованием данных большой размерности, имеющих различные типы;

- установлено отсутствие подходов и алгоритмов индивидуального прогнозирования изменений состояния сердца пациента;

- изучены применительно к задачам диссертации методы математической статистики, теории вероятности, цифровой обработки изображений и распознавания образов;

Значения полученных в работе результатов исследования для практики подтверждаются тем, что:

- разработана и внедрена методика анализа признаков изображений портретов сердца для построения моделей диагностики и индивидуального прогноза ССЗ с помощью автоматизированной информационной системы диагностики и прогноза ССЗ в НУЗ Отделенческая больница на станции Муром ОАО «РЖД» (г. Муром, Владимирская обл.) и в учебном процессе кафедры «Информационные системы» Муромского института (филиала) «Владимирского государственного университета имени А.Г. и Н.Г. Столетовых» (г. Муром, Владимирская обл.);

- определены возможности использования разработанной методики для диагностики других видов заболеваний сердца и прогнозирования будущих изменений;

- создана автоматизированная информационная система диагностики и индивидуального прогноза заболеваний сердечно-сосудистой системы;

- повышена вероятность правильной диагностики и прогноза заболеваний более чем на 15%, что подтверждено результатами сравнения диагнозов системы и врача-специалиста.

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что основные полученные результаты представлены в виде алгоритмов, вычислительных схем алгоритмов и структурной схемы автоматизированной системы диагностики и прогнозирования ССЗ. Применимость предложенных алгоритмов доказывается результатами экспериментальных исследований.

Личный вклад соискателя состоит в:

- участии автора во всех этапах процесса выполнения диссертационной работы;

- непосредственном участии автора в проведении обследований пациентов с помощью системы КардиоВизор, их последующей обработке для проведения дальнейшего исследования;

- личном участии в апробации результатов исследования по диагностике заболеваний и прогнозированию будущих изменений состояния сердца;

- обработке и интерпретации результатов экспериментальных исследований по диагностике и прогнозированию на тестовых и случайных результатах обследования пациента;
- формировании математических моделей прогноза ССЗ и их тестировании на тестовых и случайно выбранных результатах обследования пациентов;
- подготовке основных публикаций по математическим моделям диагностики, индивидуальным моделям прогнозирования ССЗ, разработке автоматизированной системы для помощи врачу-кардиологу;
- личном участии во внедрении результатов работы в отделение функциональной диагностики лечебно-профилактического учреждения и учебном процессе.

Диссертационная работа охватывает основные вопросы поставленной научной задачи по созданию методики и системы диагностики ССЗ позволяющей повысить вероятность верного распознавания более чем на 15% и соответствует критерию внутреннего единства, что подтверждается наличием последовательно плана исследований, основной идейной линии по созданию математических моделей диагностики, индивидуальных моделей прогнозирования ССЗ у пациента, взаимосвязью выводов по результатам теоретических и экспериментальных исследований.

Практическая ценность работы. Разработанные алгоритмические и программные средства составляют основу созданной системы, применение которой позволяет решать следующие задачи:

- Диагностика состояния сердца пациента по результатам анализа значений признаков изображений портрета сердца;
- Индивидуальное прогнозирование будущих изменений по результатам анализа динамики признаков работы сердца пациента;
- Повышение вероятности верного определения заболеваний сердечно-сосудистой системы за счет использования расширенного набора признаков более чем на 15%.

Реализация результатов работы. Разработанная система диагностики и прогноза сердечно-сосудистых заболеваний используется в отделении функциональной диагностики НУЗ Отделенческая больница на станции Муром ОАО «РЖД» и в учебном процессе Муромского института (филиала) ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых» в виде цикла практических работ по дисциплине «Методы и системы цифровой обработки изображений» и «Научно исследовательская работа студентов (НИРС)», что подтверждается соответствующими актами.

На защиту выносятся следующие основные результаты работы:

1. Методика диагностики и прогноза сердечно-сосудистых заболеваний, на основе статистических характеристик портретов сердца и индивидуальных параметров пациентов, позволяющая повысить вероятность правильного диагноза основных заболеваний сердца более чем на 15%.
2. Математические регрессионные модели описания состояния сердечно-сосудистой системы отдельных и группы пациентов, позволяющих на основе данных предыдущих обследований прогнозировать изменения параметров состояния сердца с вероятностью не менее 73% на ближайшее время (2-3 месяца) и с вероятностью не менее 59% на отдаленное время (12 месяцев и более).

3. Автоматизированная система диагностики и прогноза сердечно-сосудистых заболеваний и результаты экспериментальных исследований на ней, подтвердившие, что анализ статистических характеристик портретов сердца и индивидуальных параметров пациентов методами распознавания образов позволяет достигнуть вероятность правильного диагноза основных заболеваний сердца от 0,88 до 0,98, а также математические модели заболеваний сердца позволяют прогнозировать изменение параметров состояния сердца с вероятностью не менее 73% на ближайшее время (2-3 месяца) и с вероятностью не менее 59% на отдаленное время (12 месяцев и более).

Апробация работы.

Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на: Международной конференции с элементами научной школы для молодежи «Биотехнические, медицинские и экологические системы и комплексы» (Рязань, 2009); всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной 1000-летию г. Ярославля «Актуальные вопросы медицинской науки» (Ярославль, 2010); 9-ом международном симпозиуме «Интеллектуальные системы» (Владимир, 2010); 17-ой международной научной конференции по вычислительной механике и современным прикладным программным системам (Алушта, 2011); 11-ой всероссийской выставке научно-технического творчества молодежи (Москва, 2011); 1-ой и 2-ой всероссийской межвузовской научной конференции «Зворыкинские чтения» (Муром, 2009-2014); ежегодных научно-технических конференциях преподавателей МИ(ф) ВлГУ (2009-2014); Internationaler Kongress Fachmesse (Gannover, 2012); 19-ой международной научной конференции по вычислительной механике и современным прикладным программным системам (Алушта, 2013); XXI Российском национальном конгрессе «Человек и лекарство» (Москва, 2014); XI международной научной конференции «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии» ФРЭМЭ'2014 (Владимир, 2014).

Публикации. Основные результаты диссертации опубликованы в 31 работе, в том числе в 8 статьях в журналах из перечня ВАК, одной монографии, 12 статьях в других научных журналах и 7 тезисах. Получены 3 свидетельства о регистрации программ для ЭВМ. Работа поддержана грантом РФФИ 11-07-09227.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 163 наименований, приложения, 55 рисунков, 42 таблицы. Объем диссертации составляет 197 страниц, в том числе 131 страниц основного текста, 18 страниц литературы и 48 страниц приложений.

Благодарности. Автор выражает благодарность главному врачу НУЗ Отделенческая больница на станции Муром ОАО «РЖД» к.м.н. Сафиулову А.Н. за постоянное внимание к работе, врачу кабинета функциональной диагностики, к.м.н. Евстигнеевой Ольге Ивановне за помощь и разъяснение вопросов медицины, помощь в разработке алгоритмов и написании статей, а также сотрудникам Муромского института (филиала) ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых» за ценные консультации при выполнении исследований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цель, задачи исследования, научная новизна, практическая ценность, а также приведены результаты реализации работы.

В первой главе рассматривается современное состояние диагностики и прогнозирования в области ССЗ. Приводится статистика и описание летальных исходов, обусловленных различными причинами. Рассматривается классификация ССЗ, дается оценка наиболее важных видов. Описываются причины возникновения ССЗ.

Исходя из анализа диагностических возможностей современных медицинских систем, делается вывод о необходимости повышения объективности определения ССЗ.

Рассматриваются и подробно описываются современные широко используемые методы диагностики ССЗ, в частности, приводится анализ возможностей и недостатков системы Кардиовизор. Подробно описаны выходные данные, получаемые при обследовании пациентов.

Материалы главы позволяют сформулировать следующие основные выводы:

1. Анализ заболеваемости сердечно-сосудистой системы в мире, России, Владимирской области и округе Муром показал, что болезни сердца встречаются практически у всего населения старше 45-50 лет и являются причиной смерти в 57% случаев.

2. Кардиология является слабо автоматизированной в области постановки диагноза и прогнозирования болезней. Определение заболеваний осуществляется кардиологом «вручную» на основе данных обследований, выполняемых с помощью узконаправленных программно-технических комплексов, осуществляющих расчет параметров работы сердца, а не диагностику заболеваний.

3. Существующие кардиологические информационные системы являются не диагностическими, либо определяют узкую группу заболеваний. В первую очередь они служат в качестве банков данных пациентов.

4. Количество разнообразных обследований, проводимых пациенту, существенно увеличивается, и врач не способен обработать их результаты самостоятельно, и поэтому часто медицинское заключение делается на основе знаний и интуиции, при этом большое количество информации о пациенте остается без внимания врача-кардиолога;

5. В настоящее время одним из самых распространенных и качественных средств ранней диагностики ССЗ является система Кардиовизор, регистрирующая дисперсионные изменения ЭКГ-сигнала пациента и отображающая их в виде цветного RGB изображения портрета сердца пациента.

6. Интерпретация врачом-кардиологом выходной информации, предоставляемой системой Кардиовизор сложна, так как человеческий глаз не в состоянии отличать мельчайшие изменения в окраске портрета сердца, что крайне важно для диагностики.

7. Заключение кардиолога по результатам обследования с помощью системы Кардиовизор носит часто субъективный характер, так как отсутствует четкая методика анализа результатов обследований и их взаимосвязи с видами заболеваний сердца.

8. Автоматизированные системы прогнозирования ССЗ отсутствуют, и оценку будущих изменений у конкретного пациента врач осуществляет интуитивно. При этом кардиологом учитывается малое количество параметров работы сердца.

9. Отсутствует математический аппарат описания ССЗ, учитывающий особенности изменения параметров работы сердца при различных ССЗ и позволяющий осуществлять диагностику и прогноз заболеваний.

Вторая глава посвящена разработке новой методики диагностики заболеваний сердца на основе данных системы Кардиовизор, формированию наборов признаков для диагностики ССЗ, их нормализации, выявлению наиболее значимых из них и сокращению признакового пространства, тестированию предлагаемой методики на объектах обучающей выборки.

Предлагаемая методика позволяет сделать анализ изображений портретов сердца не зависящим от возможностей цветовосприятия глаз медицинского персонала, тем самым повышается объективность диагностики ССЗ. Она сводится к вычислению и математической обработке статистических признаков первого и второго порядка изображений портрета сердца и выявлению их характерных особенностей в виде эталонов и моделей ССЗ с помощью методов распознавания. Использование данной методики позволяет более узко сориентировать кардиолога при постановке диагноза, так как в результате ее применения определяется наиболее вероятная болезнь, и в зависимости от этого врач строит дальнейшую работу с пациентом.

Общая схема диагностики ССЗ по предлагаемой методике на основе данных системы Кардиовизор состоит из следующих этапов (рис. 1):



Рисунок 1 – Общая схема диагностики и прогноза ССЗ по новой методике на основе результатов обследования с помощью системы Кардиовизор

Существующая методика анализа данных системы Кардиовизор сводится к «ручной» интерпретации окраски портретов сердца пациента врачом-кардиологом. Предлагаемая методика позволяет сделать этот процесс автоматизированным и возложить функции обнаружения и классификации патологий ССС на ЭВМ за счет анализа статистических признаков изображений портрета сердца и формирования на их основе моделей заболеваний. Применение этой методики на практике позволит получить более тщательный анализ результатов обследования, классифицировать возможные патологии сердца пациента за счет использования расширенного количества данных и точности их математической обработки при определении заболевания, что невозможно при «ручном» анализе.

Выделение объекта (сердце) на изображении. При анализе исследуемых изображений портрета сердца, интерес представляет непосредственно само сердце. Для этого на изображениях выделяются два объекта: фон и сердце. Фон удаляется, и дальнейший анализ осуществляется только над объектом «сердце».

Затем осуществляется сегментация изображения на 15 областей.

Рассчитываются 6 статистических признаков Харалика I порядка и 13 признаков II порядка для каждой из 15 областей R, G, B изображений. Таким образом, количество анализируемых признаков составляет 1740: $(6+13)*15*6 = 1710$ – статистические признаки изображений портрета сердца, 11 дисперсионные характеристики, 19 индивидуальные параметры пациента.

Сокращение избыточности в признаковом пространстве. Количество анализируемых признаков очень велико и поэтому проводится сокращение признакового пространства и переход к меньшему числу признаков без потери точности описания состояния конкретного пациента на основе использования метода главных компонент. Другими словами, используются новые, формальные переменные $D' = \{d'_1, d'_2, \dots, d'_A\}$, являющиеся линейной комбинацией исходных переменных $D = \{d_1, d_2, \dots, d_I\}$. Использование данного метода позволяет сохранить правильность диагностики без потери важной части информации при сокращении признакового пространства.

Диагностика ССЗ, с использованием дискриминантного анализа Фишера. Классифицирующие модели ССЗ строятся по сокращенному набору данных. После определения переменных, необходимо вычислять коэффициенты, которые будут использоваться для классификации наблюдения пациента. Результаты использования построенных моделей на обучающей выборке (с заранее известными диагнозами) показали, что в среднем достоверность классификации составляет 94%, а в некоторых группах – до 98% (таблица 1).

Результаты анализа показали, что средняя достоверность классификации основных ССЗ на тестовой выборке составляет 94%, а в некоторых группах достигает до 98%. Таким образом, использование дискриминантных моделей Фишера при распознавании заболеваний ССС имеет среднюю вероятность правильной диагностики 94%. Имеющиеся ошибки распознавания на обучающей выборке обусловлены влиянием погрешностей вычисления, происходящих при нормализации и сокращении признакового пространства и вычислительном эксперименте.

Таблица 1 - Результаты диагностики на обучающей выборке при использовании дискриминантного анализа Фишера

Набор	всего	ССЗ								% верного распозн.
		Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Y_5	Y_6	Y_7	Y_8	
1	268	265	0	0	1	0	1	1	0	98,08
2	272	2	259	0	2	0	2	2	5	95,33
3	272	0	2	259	0	2	5	2	2	95,33
4	274	0	0	2	261	4	0	0	5	94,67
5	267	4	7	11	4	233	5	4	0	87,33
6	276	0	4	11	2	2	256	2	0	92,67
7	269	0	5	7	2	2	9	244	0	90,67
8	273	0	2	2	1	3	0	0	265	97,07
	Всего 2171									среднее 94
Число ошибок		6	20	33	12	13	21	11	12	

Третья глава посвящена разработке и исследованию математических моделей оценки возможных состояний сердца в будущем, экспериментальному тестированию предлагаемого подхода на объектах обучающей выборки для различных групп населения.

Построение обобщенных математических моделей ССЗ. Под обобщенной моделью заболевания сердца понимается модель, предназначенная для описания заболевания в целом без учета особенностей конкретного пациента, принадлежности его к определенной группе в соответствии с факторами риска. Обобщенные математических модели ССЗ модели построены на основе логистической регрессии и служат для оценки общей тенденций состояния пациента:

$$\hat{Y}_1 = \frac{1}{1 + e^{-(2.36 + 14.91d'_1 + 17.01d'_3 - 0.63d'_4 + 8.80d'_5 - 3.61d'_6 - 1.74d'_7 - 1.77d'_8 + 1.75d'_9 - 1.11d'_{10} - 0.10d'_{12} + 4.54d'_{14} + 3.62d'_{16})}}. \quad (1)$$

Данная модель имеет следующие характеристики $D = 0,934$, $D_n = 0,929$, $D_{\min} = 0,589$, что говорит о ее высокой достоверности (93%) и применимости на практике. Пороговое значение $\lambda_{Y_1} = 0.87$, т.е. у пациента наблюдается заболевание Y_1 , если $\hat{Y}_1 \geq 0,87$, и у пациента отсутствует заболевание Y_1 , если $\hat{Y}_1 < 0.87$. Аналогичным образом были построены обобщающие модели для других исследуемых ССЗ.

Построение математических моделей заболеваний для различных групп населения

Для формирования математических моделей для различных групп населения результаты обследования пациентов были группированы в соответствии с полом и возрастом. Полученные модели используются при построении индивидуальных моделей. В качестве обобщающих факторов для формирования групп населения при построении моделей ССЗ были выбраны пол и возраст. Например, 1 подгруппа включает в себя результаты обследования мужчин от 18 до 40 лет. В результате анализа для них были получены следующие модели заболеваний Y_1, Y_2 :

$$\hat{Y}_1 = \frac{1}{1 + e^{-(72,512 - 18,967d_1 - 16,245d'_2 + 11,736d_4 + 35,320d'_5 + 43,125d_7 + 51,469d'_{12} + 53,552d'_{13} + 57,866d'_{14} + 76,769d'_{15} + 86,880d'_{16})}}. \quad (2)$$

$$\hat{Y}_2 = \frac{1}{1 + e^{\frac{-(-0,537 - 0,228d'_1 + 7,396d'_2 + 11,619d'_3 + 138,828d'_4 + 176,777d'_5 + 185,855d'_6 + 193,713d'_8 + 204,438d'_9 + 224,065 + 228,927d'_{12} + 231,619d'_{13} + 236,260d'_{14} + 278,115d'_{15})}{}} \cdot \quad (3)$$

Модели заболеваний Y_3, Y_4, \dots, Y_8 сформированы аналогичным образом.

Индивидуальные модели прогноза ССЗ

Для оценки индивидуального прогноза необходимо проанализировать изменения значений признаков пациента, полученные в ходе предыдущих обследований. Вероятность наличия у пациента заболевания Y_m характеризуется коэффициентом уверенности:

$$KY^{Y_m}(\pi + 1) = KY^{Y_m}(\pi) + \mu^{Y_{mj}}(d_{\pi+1}) \cdot k_{\pi}^{Y_m} \cdot [1 - KY^{Y_m}(\pi)], \quad (4)$$

где $KY^{Y_m}(\pi + 1)$ - коэффициент уверенности в наличии болезни с учетом признака $(\pi + 1)$, $\mu^{Y_m}(d_{\pi+1})$ - функция принадлежности признака $d_{\pi+1}$ для болезни Y_m .

Тогда индивидуальный прогноз ССЗ описывается с помощью следующей математической модели:

$$Y_m = KY^{Y_m} \cdot \frac{1}{1 + e^{-(\beta_0 + \beta_1 d'_{i1} + \beta_2 d'_{i2} + \dots + \beta_{16} d'_{i16})}} \cdot \quad (5)$$

Алгоритм вычисления оценки возможных значений признаков при наличии нескольких обследований следующий:

1. Значения признака, полученные в результате предыдущих обследований экстраполируются с помощью линейной функции $y(t) = at + b$ методом наименьших квадратов, где t – время, на которое осуществляется оценка возможных изменений;

2. Пункт 1 повторяется для всех анализируемых признаков;

3. На основе полученных экстраполяционных значений признаков вычисляется коэффициент уверенности по (2);

4. Полученное в результате вычислений значение коэффициента уверенности используется при формировании математической модели оценки возможных изменений ССЗ по (3). Использование коэффициента уверенности как множителя позволяет внести в математическую модель, описывающую ССЗ в общем виде, элемент, учитывающий индивидуальные особенности пациента и характер изменения значений признаков работы его ССС с течением времени.

5. Строится график коэффициента уверенности;

6. Формируется модель оценки возможных изменений состояния сердца пациента в соответствии с (3);

7. Оценивается прирост коэффициента уверенности: если наблюдается прирост, то это говорит, что вероятность анализируемого заболевания увеличивается. Если наблюдается уменьшение значения коэффициента уверенности, то вероятность данного заболевания снижается;

8. Оценивается отклик полученной модели оценки возможных изменений в соответствии с пороговым значением наличия у пациента данного ССЗ

Оценка возможных изменений по результатам предыдущих обследований:

По полученным возможным значениям признаков, вычисленных в п.1 и 2 выше описанного алгоритма строится значение коэффициента уверенности наличия заболевания с учетом каждого признака через время оценки t (рис.2).

При наличии нескольких результатов обследований оценивается вероятность развития (возникновения) каждого ССЗ отдельно:

Таблица 2 – Вероятности возникновения Y_4

Обследование	Коэффициент уверенности заболевания Y_4 , %
№1	99,48
№2	99,57
№3	99,59
№4	99,63
№5	99,64
№6 (прогноз)	99,65

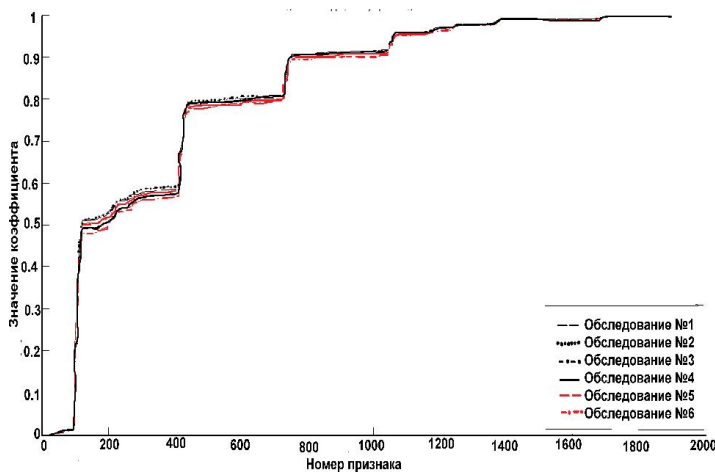


Рисунок 2 – Коэффициенты уверенности болезни Y_4 при анализе 5 обследований пациента

Модель оценки возможных изменений в этом случае описывается следующим образом:

$$\hat{Y}_4 = 0.998 \frac{1}{1 + e^{-(205,33d'_1 - 331,19d'_2 - 327,04d'_3 - 356,67d'_5 - 281,01d'_6 - 246,02d'_9 - 225,49d'_{12} - 312,62d'_{14})}} \cdot (6)$$

Таблица 3 – Вероятности возникновения Y_2

Обследование	Коэффициент уверенности заболевания Y_2 , %
№1	0,00
№2	0,00
№3	0,00
№4	0,80
№5	0,00
№6 (прогноз)	0,90

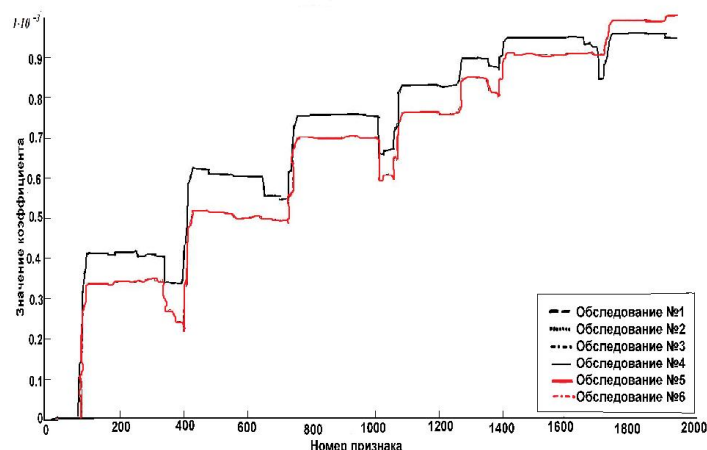


Рисунок 3 – Коэффициенты уверенности болезни Y_2 при анализе 5 обследований пациента

Модель оценки возможных изменений в этом случае примет вид:

$$\hat{Y}_2 = 0.009 \frac{1}{1 + e^{-(197,43d'_1 - 321,20d'_2 - 326,26d'_3 - 256,77d'_5 - 241,01d'_6 - 187,92d'_9 - 212,43d'_{12} - 308,68d'_{14})}} \cdot (7)$$

Анализируя рисунки и построенные модели, видно, насколько заболевание Y_4 вероятнее, чем заболевание Y_2 .

При экспериментальном исследовании предложенного подхода к оценке возможных изменений на ближние (2-3 месяца) и отдаленные периоды (12 месяцев и более) получены следующие результаты:

Таблица 4 – Оценка возможного состояния ССЗ

ССЗ	Исходное состояние	Верный прогноз											
		Абс.						%					
		Система			Врач-специалист			Система			Врач-специалист		
Время, мес.	2	6	12	2	6	12	2	6	12	2	6	12	
Y_1	21	21	20	19	21	19	16	100,00	95,24	90,48	100,00	90,48	76,19
Y_2	19	15	14	12	13	12	9	78,95	73,68	63,16	68,42	63,16	47,37
Y_3	22	17	15	13	14	13	10	77,27	68,18	59,09	63,64	59,09	45,45
Y_4	18	14	13	13	12	10	7	77,78	72,22	72,22	66,67	55,56	39,01
Y_5	19	14	14	12	12	10	8	73,68	73,68	63,16	63,16	52,63	42,11
Y_6	21	16	13	13	13	11	9	76,19	61,90	61,90	61,90	52,38	42,86
Y_7	20	16	14	13	14	12	9	80,00	70,00	65,00	70,00	60,00	45,00
Y_8	16	13	11	11	10	11	8	81,25	68,75	68,75	62,50	68,75	50,00
Итого	156	126	114	106	109	98	76	80,64	72,96	67,97	69,536	62,76	48,50

При оценке возникновения новых заболеваний вероятность правильного прогноза системы составляет 63%, врача-специалиста 42%. При эволюции заболеваний вероятность правильного прогноза системы составляет 61%, врача-специалиста 39%. Полученные результаты использования индивидуальных прогнозных моделей являются достаточно высокими и позволяют применять их на практике. Минимальная вероятность правильной оценки возможных изменений через 2 месяца системой составляет не менее 73%, врачом-специалистом – не менее 61%. Минимальная вероятность правильной оценки возможных изменений через 6 месяца системой составляет не менее 61%, врачом-специалистом – не менее 52%. Минимальная вероятность правильной оценки возможных изменений через 12 месяцев системой составляет не менее 59%, врачом-специалистом – не менее 39%.

Таким образом, разработанные индивидуальные модели оценки возможных ССЗ позволяют учитывать вероятность будущих изменений в работе сердца конкретного пациента.

Четвертая глава посвящена проектированию и построению автоматизированной системы диагностики и прогноза ССЗ, проведению экспериментальных исследований на экзаменационной выборке кардиологических данных.

Исходя из требований, предъявляемых к информационной системе диагностики ССЗ, ее функциональная схема представлена на рисунке 4.

Разработанная система позволяет в автоматизированном режиме осуществлять диагностику заболеваний сердца, сравнить значения признаков пациента с нормами, помогая врачу-кардиологу при определении отклонений в работе сердца пациента.

При проведении экспериментального тестирования предлагаемой методики, моделей и системы диагностики ССЗ и сравнении их результатов с результатами определения заболеваний кардиологом-специалистом на объектах экзаменационной выборке получены следующие результаты (табл. 5).

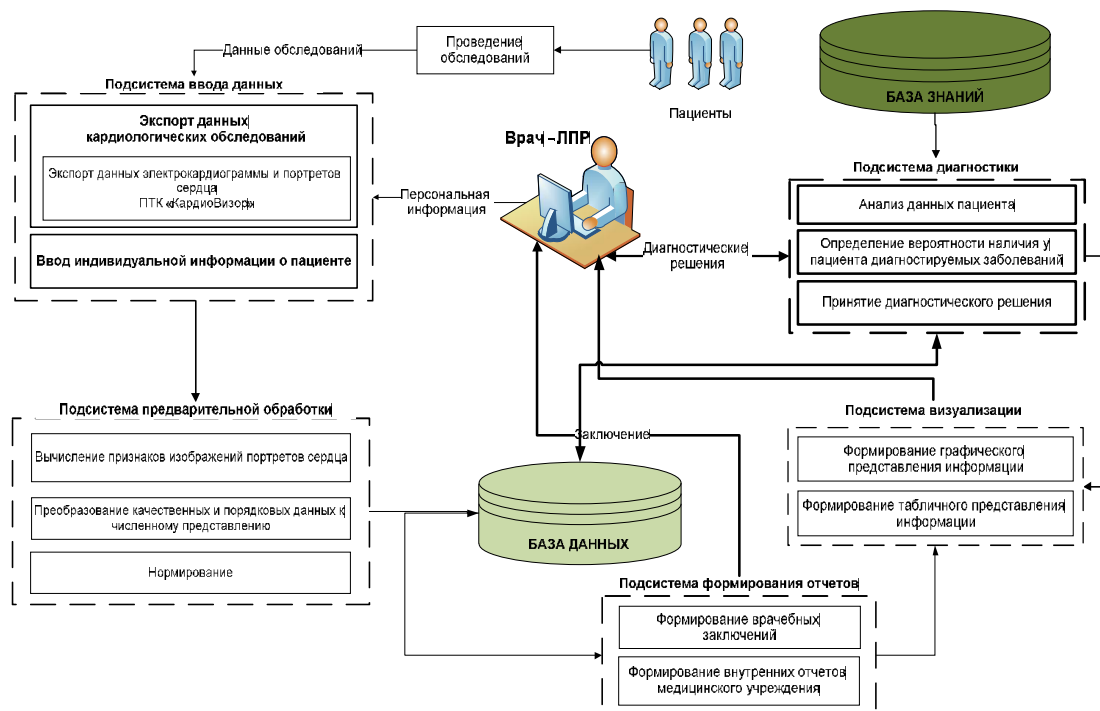


Рисунок 4 – Функциональная схема системы

Таблица 5 – Сравнение результатов диагностики врачом и с помощью дискриминантного анализа Фишера

	Кол-во пациентов	Врач (специалист)			Система		
		Диагностировано	Из них верно		Диагностировано	Из них верно	
			Абс.	%		Абс.	%
Здоровые	304	304	290	95,39	304	303	99,67
АГ	310	298	231	74,52	306	298	96,13
ГБ	312	304	217	69,55	310	300	96,15
ГБ 2	301	313	124	41,20	305	294	97,67
ГБ 3	302	291	116	38,41	298	272	90,07
ПС	308	318	106	34,42	305	293	95,13
СН	310	305	114	36,77	308	297	95,81
ФП	303	317	149	49,17	314	267	88,12
Итого	2450	2450	1347	Среднее 54,16	2450	2324	Среднее 94,84

1. При диагностике заболеваний сердца у экзаменационной группы пациентов выявлено, что здоровые пациенты системой распознаются со 100% вероятностью. Наименьшая вероятность правильного распознавания у системы составила 88% (при Фибрилляции предсердий), а у врача-специалиста - 34% (при Прогрессирующей стенокардии).

2. Качество индивидуального прогноза зависит от объема имеющихся о нем данных предыдущих обследований. Наилучшим образом прогнозируются стабильные состояния

пациентов. Вероятность верного прогноза системой ДССЗ составляет 72%, у врача-специалиста – 46%. Возникновение новых ССЗ предсказывается правильно с вероятностью 63% системой ДССЗ и 42% - врачом-специалистом. Эволюция существующих ССЗ прогнозируется системой правильно с вероятностью 61%, а врачом-специалистом с вероятностью 39%. Таким образом, по этим результатам видно, что система дает вероятность правильной оценки в целом на 21% выше, чем врач-специалист;

3. Сформированы математические модели заболеваний ССЗ для различных групп населения, отобранных по полу и возрасту как основных неконтролируемых факторов риска. Их применение позволяет с большей вероятностью определять виды ССЗ по сравнению с обобщенной моделью, которая учитывает общие тенденции изменения значений признаков при исследуемых болезнях.

В заключении сформулированы основные результаты, полученные в ходе выполнения диссертационной работы:

1. Предложена методика диагностики заболевания сердца на основе данных системы Кардиовизор, позволяющая повысить вероятность правильного определения заболеваний сердца более чем на 15 % на основе анализа статистических признаков первого и второго порядка Харалика, дисперсионных характеристик и индивидуальных параметров пациента.

2. Реализованы и исследованы:

- алгоритм минимизации признакового пространства, основанный на использовании метода главных компонент, позволяющий привести исходное признаковое пространство в 1740 признаков к 16 компонентам;

- алгоритм диагностики ССЗ, основанный на использовании дискриминантного анализа Фишера, позволяющий определять наличие заболевания с достоверностью 94%, что на 17% больше наилучшего результата врача-специалиста;

- математические модели индивидуального прогнозирования развития ССЗ с течением времени, основанные на использовании коэффициента уверенности совместно с моделями заболеваний сердца, построенными для различных групп населения отобранных по полу и возрасту как основных неконтролируемых факторов риска, позволяющие оценить вероятность наличия заболеваний и их возникновения с вероятностью верной оценки не менее 73%, что на 10% больше наилучшего результата врача-специалиста.

3. В результате экспериментальных исследований алгоритмов распознавания ССЗ выявлено, что здоровые пациенты определяются системой с 98% вероятностью, минимальная вероятность правильной диагностики составляет 88%. Ошибки, возникающие при диагностике, обусловлены действием неконтролируемых факторов. Данная вероятность правильной диагностики удовлетворяет требованиям кардиологов, что позволяет применять систему на практике.

4. При экспериментальном исследовании оценки возникновения новых заболеваний вероятность правильного прогноза системы составляет 63%, врача-специалиста 42%. При эволюции заболеваний вероятность правильного прогноза системы составляет 61%, врача-специалиста 39%. Полученные результаты использования индивидуальных прогнозных моделей являются достаточно высокими и позволяют применять их на практике. Минимальная вероятность правильной оценки возможных изменений через 2 месяца системой состав-

ляет не менее 73%, врачом-специалистом – не менее 61%. Минимальная вероятность правильной оценки возможных изменений через 6 месяцев системой составляет не менее 61%, врачом-специалистом – не менее 52%. Минимальная вероятность правильной оценки возможных изменений через 12 месяцев системой составляет не менее 59%, врачом-специалистом – не менее 39%.

5. Разработана и реализована тиражируемая автоматизированная система диагностики ССЗ, обладающая широкими функциональными возможностями и являющаяся незаменимым помощником врачу-кардиологу. Система отличается дешевизной и простотой использования.

6. Разработанная система эксплуатируется в отделении функциональной диагностики НУЗ отделенческая больница на станции Муром ОАО «РЖД».

В приложении приведены схема изображений портрета сердца, эталонные изображения портрета сердца здорового пациента, описаны используемые методы математической статистики и теории вероятности, приведены обучающая и экзаменационная выборки и этапы их обработки, обобщенные модели заболеваний и модели заболеваний для различных групп населения, используемые при прогнозировании ССЗ, копии свидетельств о регистрации программ для ЭВМ; документы, подтверждающие практическое использование результатов диссертационной работы.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в журналах из перечня ВАК

1. Садыков, С.С. Математические модели некоторых сердечно-сосудистых заболеваний / С.С. Садыков, И.А. Сафиулова, А.С. Белякова // Информационные технологии. – 2011. – №12. – С. 59-63

2. Садыков, С.С. Автоматическая объективная оценка и выбор наиболее значимых параметров для диагностики сердечно-сосудистых заболеваний / С.С. Садыков, И.А. Сафиулова, А.С. Белякова // Автоматизация и современные технологии. – 2012. – №3. – С. 27-33

3. Садыков, С.С. Регрессионные модели стенокардии и зависимость их информативности от количества параметров работы сердца / С.С. Садыков, А.С. Белякова // Системы управления и информационные технологии. – 2011. – №3.1(45). – С. 190-194

4. Садыков, С.С. Исследование взаимосвязи между окраской участков портрета сердца и изменениями электрокардиограмм / С.С. Садыков [и др.] // Известия вузов. Приборостроение. – 2012. – №2. – С. 64-69

5. Белякова, А.С. Построение индивидуальной математической модели развития сердечно-сосудистых заболеваний / А.С. Белякова // Системы управления и информационные технологии. – 2012. – №3(49). – С. 4-6

6. Евстигнеева, О.И. Влияние факторов риска на работу сердечной мышцы: наблюдение на кардиовизоре / О.И. Евстигнеева, И.А. Сафиулова, А.С. Белякова // Здоровье населения и среда обитания. – 2011. – №4. – С. 34-37

7. Садыков, С.С. Объективная оценка значимости параметров в функциональной диагностике / С.С. Садыков, И.А. Сафиулова, А.С. Белякова // Российские медицинские вести. – 2014. – №2. – С.40-45

8. Садыков, С.С. Информационная система диагностики сердечно-сосудистых заболеваний в структуре локальной вычислительной сети / С.С. Садыков, А.С. Белякова // Телекоммуникации. – 2014. – №11. – С. 7-14.

Монография

9. Совершенствование диагностики сердечно-сосудистых заболеваний: монография / С.С. Садыков [и др.]; под ред. д-ра мед. наук Е.А. Ефремова, д-ра техн. наук, проф С.С. Садыкова; Владим. Гос. Ун-т им. А.Г. и Н.Г. Столетовых, Муром. ин-т(фил.) [и др.]. – Владимир: Изд-вл ВлГУ, 2014. – 260 с.

Свидетельства о регистрации программ для ЭВМ

10. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2012617568. Система анализа изображений портретов сердца, получаемых с помощью ПТК КардиоВизор-06С // А.С. Белякова, С.С. Садыков; зарег. в реестре прогр. для ЭВМ 21.08.2012

11. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2014618977 РФ. Система анализа кардиологических данных, диагностики и прогноза ССЗ на основе математических моделей // С.С. Садыков, А.С. Белякова; зарег. в реестре прогр. для ЭВМ 14.04.2014

12. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014615937 РФ. Система вычисления и статистического анализа полутоновых характеристик набора изображений портретов сердца, получаемых с помощью ПТК «КардиоВизор-06С» // А.С. Белякова, С.С. Садыков; зарег. в реестре прогр. для ЭВМ 06.06.2014

Статьи в других журналах и научных сборниках

13. Белякова, А.С. Проектирование автоматизированного рабочего места врача-кардиолога / А.С. Белякова // Системы и методы обработки и анализа данных. – 2009. – №1. – С. 40-45.

14. Белякова, А.С. Основные признаки оценки состояния сердечно-сосудистой системы / А.С. Белякова // Алгоритмы, методы и системы обработки информации. – 2009. – №14. – С. 24-29

15. Белякова, А.С. Роль и место математических моделей в кардиологии / А.С. Белякова // Алгоритмы, методы и системы обработки данных. – 2010. – №15. – С. 16-27.

16. Садыков, С.С. Анализ и исследование портретов сердца / С.С. Садыков [и др.] // Алгоритмы, методы и системы обработки информации. – 2012. – №19. – С. 143-149

17. Морозова, И.С. Исследование математических моделей диагностики и прогнозирования ССЗ (на основе стенокардии и инфаркта миокарда) / И.С. Морозова, С.С. Садыков, А.С. Белякова // Алгоритмы, методы и системы обработки информации. – 2012. – №20. – С. 1-12

18. Евстигнеева, О.И. Критерии выделения групп риска из лиц трудоспособного возраста при медицинских исследованиях системе АСПО / О.И. Евстигнеева [и др.] // Алгоритмы, методы и системы обработки информации. – 2012. – №19. – С. 33-39

19. Морозова, И.С. Информационная система анализа кардиологических данных, диагностики и прогноза ССЗ на основе математических моделей / И.С. Морозова, С.С. Садыков, А.С. Белякова // Алгоритмы, методы и системы обработки информации. – 2012. – №20. – С. 13-17

20. Садыков, С.С. Выделение предвестников нервного напряжения работников локомотивного депо методами факторного анализа / С.С. Садыков [и др.] // Труды международного симпозиума "Надежность и качество 2012". – 2012. – Т.2. – С. 387-389

21. Садыков, С.С. Разработка и исследование математических моделей ССЗ: нарушения ритма и проводимости / С.С. Садыков, И.А. Орлов, А.С. Белякова // Алгоритмы, методы и системы обработки информации. – 2012. – №19. – С. 179-187

22. Окорочков, В.Г. Исследование факторов риска у работающего населения различных возрастных групп / В.Г. Окорочков [и др.] // Личность в меняющемся мире: здоровье, адаптация, развитие. – 2013. – №3. – С. 80-87.

23. Евстигнеева, О.И. Визуализация дисперсионных изменений ЭКГ у курящих пациентов / О.И. Евстигнеева, А.С. Белякова // Современная наука: теоретический и практический взгляд: Сборник статей Межд. науч.-практ. Конф. – Уфа: РИЦ БашГУ, 2013. – С. 183-188

24. Садыков, С.С. Методы, используемые при диагностике артериальной гипертензии на рабочем месте у лиц операторской профессии / С.С. Садыков, А.С. Белякова, О.И. Евстигнеева // Алгоритмы, методы и системы обработки информации. – 2014. – №1. – С. 11-17

Материалы конференций

25. Белякова, А.С. Автоматизированная система сбора и обработки кардиологических данных / А.С. Белякова // Биотехнические, медицинские и экологические системы и комплексы: материалы конференции. – Рязань: РГРТУ, 2009. – С.419-423.

26. Садыков, С.С. Система поддержки принятия решений при диагностике и оценке состояния сердечно-сосудистой системы / С.С. Садыков, А.С. Белякова // Интеллектуальные системы: Труды девятого международного симпозиума; под ред. К.А. Пупкова. - М.: РУСАКИ, 2010. – С.488-490.

27. Белякова, А.С. Информационная диагностическая система сердечно-сосудистых заболеваний / А.С. Белякова // Актуальные вопросы медицинской науки: Сб. науч. тр. ст-в и мол. уч. ВНИК, посвященной 1000-летию г. Ярославля. – Ярославль: ООО «ЯрМедиаГруп», 2010. – С.44.

28. Садыков, С.С. Применение регрессионного анализа при построении моделей заболеваний сердца / С.С. Садыков, А.С. Белякова // Материалы XVII международной конференции по вычислительной механике и современным прикладным программным средствам (ВМСППС 2011). – М.: Изд-во МАИ-ПРИНТ, 2011. – С.150-152.

29. Белякова, А.С. Математические модели прогноза редких сердечно-сосудистых заболеваний / А.С. Белякова // Новые информационные технологии в научных исследованиях. - Редакционно-издательский центр РГРТУ, 2011. – С. 51-52

30. Evstigneeva, O.I. Controllable risk factors superfluous body mass and smoking. Features as variance characteristics of ECG/ O.I Evstigneeva, A.S. Belyakova // Internationaler Kongress Fachmesse. Gannover, 2012. – С.79-80

31. Садыков, С.С. Исследование полутоновых характеристик портретов сердца при некоторых ССЗ / С.С. Садыков, А.С. Белякова // Материалы XVIII международной конференции по вычислительной механике и современным прикладным программным средствам (ВМСППС 2013). – М.: Изд-во МАИ-ПРИНТ, 2013. – С.89-91.

Белякова Анна Сергеевна

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ДИАГНОСТИКИ И
ПРОГНОЗА СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ
НА ОСНОВЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОРТРЕТОВ СЕРДЦА И
ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПАЦИЕНТОВ

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать ____ - ____ - _____. Формат бумаги 60X84 1/16.

Бумага офсетная. Печать трафаретная. Усл. Печ. 1,0.

Тираж 120 экз. Заказ

Рязанский государственный радиотехнический университет.
390005, Рязань, ул. Гагарина, 59/1.

Издательство Муромского института (филиала) федерального
государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования
«Владимирский государственный
университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича
Столетовых»
602264, Владимирская обл., г. Муром, ул. Орловская, 23.