

На правах рукописи



Жданов Дмитрий Сергеевич

**ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ИНТЕГРИРОВАННАЯ ОПТИКО-
ТЕЛЕВИЗИОННАЯ МЕДИЦИНСКАЯ ДИАГНОСТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА
АНАЛИЗА ЦВЕТНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ОРГАНОВ ЧЕЛОВЕКА**

05.11.17 – Приборы, системы и изделия медицинского назначения

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

г. Томск – 2014

Работа выполнена на кафедрах «Управление качеством» и «Исследование операций» Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет» и на кафедре «Промышленная и медицинская электроника» Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет».

Научный руководитель:

Сырякин Владимир Иванович
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты:

Кориков Анатолий Михайлович
доктор технических наук
ФГБОУ ВПО «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники», заведующий кафедрой «Автоматизированные системы управления»

Лисицына Лилия Ивановна
доктор технических наук
ФГБОУ ВПО «Новосибирский государственный технический университет», профессор кафедры «Электронные приборы»

Ведущая организация:

ФГБОУ ВПО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск

Защита состоится «11» ноября 2014 г. в 15 ч. 00 мин. на заседании диссертационного совета Д212.269.09 ФГАОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» по адресу: 634028, г. Томск, ул. Савиных, 7, ауд. 215.

С диссертационной работой можно ознакомиться в научно-технической библиотеке ФГАОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» по адресу: 634034, г. Томск, ул. Белинского, 55 и на сайте: <http://portal.tpu.ru/council/916/worklist>.

Автореферат разослан «__» сентября 2014 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,
кандидат технических наук, доцент



Васендина Е. А.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. На сегодняшний день проблема создания медицинских оптико–телевизионных систем является актуальной задачей. Такие системы позволяют напрямую получать цветные изображения исследуемых органов или их систем, осуществлять управление специализированными медицинскими видеокамерами, установленными на операционных микроскопах, видеозапись с одной из выбранных видеокамер, управление различными узлами медицинских приборов, входящих в состав аппаратной части медицинской оптико – телевизионной системы. Эффективность телевизионных медицинских диагностических систем определяется удобством и простотой в обращении, автоматизацией процесса диагностики патологий органов и систем органов человека.

История средств медицинской визуализации поверхностей внутренних органов начинается с первых попыток применения эндоскопии. В 1806 году Филипп Боззини, считающийся изобретателем эндоскопа сконструировал аппарат для исследования прямой кишки и полости матки. Возможности эндоскопии существенно расширились со 2-й половины XX века с появлением приборов волоконной оптики. Осмотру стали доступны почти все органы, увеличилась их освещённость, появилась возможность записи чёрно-белого или цветного изображения (используются модификации стандартных фото- и видеокамер). В то же время, ни один из методов получения цветных изображений до конца XX века не включал в себя возможность обработки изображений с целью определения наличия патологий исследуемых органов. Первые шаги в этом направлении были сделаны профессором Томского Государственного университета (г. Томск) - Сырымкиным Владимиром Ивановичем, который предложил использовать принципы, применяемые в корреляционно-экстремальных системах навигации и диагностики состояния неорганических материалов для анализа цветных изображений поверхностей органов. Реализованные конструктивные и алгоритмические подходы основываются на работах В. С. Титова, Ю. Г. Якушенкова, А. А. Петрова, Ю. А. Никитиной, В. А. Потехина, Р. М. Галиулина, В. А. Долженкова, И. А. Милорадова, И. Н. Пустынского, В. И. Рыбака, В. М. Валькова, А. А. Вашило, В. А. Долженкова, А. А. Жданова и других – описывающих теоретические аспекты и принципы реализации алгоритмов обработки зрительной информации, основы расчета и проектирования систем технического зрения, а также классификацию и принципы их реализации.

В настоящее время большинство диагностических медицинских систем использует для исследования и оценки патологических изменений органов и систем снимок, полученный различными способами. Среди них рентгеновские снимки, магнитно-резонансные изображения, ультразвуковые эхограммы, кольпоскопические изображения. Последние широко применяются для ранней визуальной диагностики злокачественных заболеваний половых органов, что остается одной из наиболее актуальных нерешенных проблем клинической онкологии в связи с тем, что в 75% случаев заболевания обнаруживаются на запущенной стадии. В то же время ряд злокачественных заболеваний могут быть своевременно диагностированы в доклинической (преинвазийной) стадии, что позволяет вылечить от 80 до 100% больных. Поэтому актуальность разработки специализированной интеллектуальной неинвазивной медицинской диагностической системы не вызывает сомнений.

В диссертации предложены алгоритмы оценки наличия патологических процессов на поверхностях исследуемых органов по их цветным изображениям. Основной принцип работы предложенных алгоритмов – оценка и сравнение математических описаний исследуемых изображений по их цветовым характеристикам. Предложенные алгоритмы

реализованы в специализированном программном обеспечении. Кроме этого, в диссертационной работе описана конструктивная реализация аппаратной части интеллектуальной интегрированной оптико-телевизионной диагностической системы анализа цветных изображений органов человека. Аппаратная часть системы предназначена, прежде всего, для получения цветного изображения исследуемого органа пациента, а также для минимизации бликов на получаемом изображении за счет разработанного светодиодного источника холодного свечения.

Целью работы является разработка нового класса неинвазивного медицинского диагностического оборудования – интегрированных интеллектуальных оптико-телевизионных медицинских диагностических систем (ИИОТМДС), позволяющих проводить визуализацию исследуемых органов и систем органов человека, а также производить анализ получаемых изображений и выносить решение о наличии, либо же отсутствии патологии.

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

1. Выработать требования и разработать обобщенную схему универсальной интеллектуальной интегрированной оптико-телевизионной медицинской диагностической системы (ИИОТМДС), включающей в себя аппаратный блок и специализированное программное обеспечение, позволяющее проводить диагностику различных патологий органов человека (поверхность шейки матки, кожных покровов, поверхностей ушной и ротовой полостей).
2. Разработать алгоритм формирования и предварительной обработки изображений и синтезировать на основе ИИОТМДС автоматизированное рабочее место (АРМ) врача–специалиста.
3. Синтезировать алгоритмы распознавания патологий на цветных изображениях органов человека путем выделения и анализа признаков сравниваемых изображений.
4. Разработать методику инженерного расчета ИИОТМДС.
5. Реализовать и экспериментально исследовать ИИОТМДС.

Методы исследования. Для решения поставленных в работе задач использованы методы распознавания образов, цифрового моделирования на ЭВМ, метрологии, математического моделирования для апробации созданных алгоритмов распознавания патологий внутренних органов и имитационного моделирования для построения блока электронной истории болезни программного обеспечения ИИОТМДС.

Научная новизна работы:

1. Предложены принципы построения ИИОТМДС, обеспечивающей решение задач диагностики наличия патологий органов человека по цветным изображениям их поверхностей. ИИОТМДС отличается от известных аналогов тем, что позволяет, благодаря комплексу сменных насадок, оценивать состояние различных органов человека и получать высококачественные цветные изображения их поверхностей, а также обеспечивает возможность обработки получаемых изображений с целью постановки предварительного диагноза пациента.
2. Разработаны алгоритмы сегментации изображений, формирования и анализа корреляционных функций, отличающиеся от стандартных методов тем, что помимо метода сравнения эталонов по цветовым характеристикам при анализе исследуемых изображений производится вычитание «бликовых» участков на изображении поверхности

исследуемого органа, а также анализ геометрических параметров объектов, присутствующих на исследуемых изображениях.

3. Разработана методика инженерного расчета ИИОТМДС, позволяющая оптимальным образом подобрать комплектующие, рассчитать быстродействие и параметры функционирования системы на этапе проектирования или при её модернизации.

4. Получены результаты экспериментальных исследований ИИОТМДС, показывающие применимость разработанного класса медицинских диагностических систем для оценки состояния поверхностей исследуемых органов человека по их цветным изображениям.

Оригинальность разработанной ИИОТМДС подтверждена 8 авторскими свидетельствами на изобретения и на компьютерные программы [21-28].

Положения, выносимые на защиту:

1. Принципы построения ИИОТМДС, обеспечивающей решение задач диагностики наличия патологий органов человека по цветным изображениям их поверхностей.
2. Алгоритмы оценки состояния поверхностей органов человека по цветным изображениям и их программная реализация.
3. Методика инженерного расчета ИИОТМДС.
4. Результаты экспериментальных исследований ИИОТМДС.

Практическая ценность работы заключается в том, что:

1. Получены результаты исследований и предложены варианты технической реализации ИИОТМДС, рекомендации по изготовлению элементов ИИОТМДС.
2. Разработаны конструкторская документация и программы и методики испытаний как программной, так и аппаратной частей ИИОТМДС, необходимые для внедрения результатов работы в серийное производство.
3. Предложены варианты технической реализации аппаратной части ИИОТМДС и результаты её применения для постановки диагноза различными медицинскими специалистами (гинекология, отоларингология, дерматология, ангиология и косметология).
4. Разработано и реализовано специализированное программное обеспечение ИИОТМДС, позволяющее производить оценку состояния внутренних органов человека по цветным изображениям их поверхностей.

Реализация и внедрение результатов работы.

Диссертация является обобщением результатов полученных в НИ ТГУ, ООО «Диагностика +», ОАО «Научно-исследовательский институт полупроводниковых приборов» (г. Томск) в процессе выполнения при участии автора в течении 2008-2011 научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, осуществляемых при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ), Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере, Министерства образования РФ, администрации Томской области и администрации г. Томска. Результаты внедрения диссертационной работы отражены в актах внедрения ООО «Диагностика +», ОАО «Научно-исследовательского института полупроводниковых приборов» (ОАО «НИИПП») и Национального исследовательского Томского государственного университета (НИ ТГУ). Результаты работы использованы ООО «Диагностика +» (г. Томск) и ОАО «НИИПП» (г. Томск) при разработке и выпуске алгоритмического, аппаратного и программного обеспечения ИИОТМДС различного назначения. В эти организации переданы научно-техническая документация, пакеты

программного обеспечения и варианты ИИОТМДС. Результаты исследований использованы в учебном процессе НИ ТГУ [11]. Кроме этого экземпляры ИИОТМДС используются в процессе исследований в гинекологическом отделении объединения «Здоровье» (г. Томск) и клиник акушерства и гинекологии Сибирского государственного медицинского университета (г. Томск). Также разработанные алгоритмы обработки и распознавания образов использованы в работе над государственным контрактом № 16.523.11.3009 от 18 августа 2011 г. «Разработка и организация опытного производства рентгеновского микротомографа для исследования органических и неорганических объектов» и государственным контрактом № 16.512.11.2123 от 25 февраля 2011 г. «Создание средств автоматического контроля параметров компрессии грудной клетки человека при его сердечно-легочной реанимации», что подтверждается соответствующими актами внедрения.

Достоверность полученных в работе выводов и рекомендаций подтверждается теоретическим анализом предложенных гипотез и использованных допущений, результатами моделирования работы программного обеспечения и испытаний вариантов ИИОТМДС.

Апробация работы. Основные положения работы и отдельные главы диссертации докладывались, обсуждались и получили положительную оценку на международных и российских конференциях и семинарах: на международной научно-практической конференции «Распознавание образов и анализ изображений: новые информационные технологии» (г. Нижний Новгород, 2008), на Всероссийской с международным участием конференция «Полифункциональные наноматериалы и нанотехнологии» (г. Томск, 2008), на итоговой конференции по результатам выполнения мероприятий за 2008 год в рамках приоритетного направления «Живые системы» ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2012 годы» (г. Москва, 2008), на научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР -2009» (г. Томск, 2009), на XX международной научно-практической конференции «Экстремальная робототехника, нано, микро и макророботы» (Геленджик, 2009г.), на XVI Санкт-Петербургской Международной конференции по интегрированным навигационным системам (Санкт-Петербург, 2009), на IX Международной конференции «Оптико-электронные приборы и устройства в системах распознавания образов, обработки изображений и символьной информации (Распознавание-2010)» (г. Курск, 2010), на I Всероссийской научно-практической конференции по инновациям в неразрушающем контроле с международным участием SibTest (г. Горно-Алтайск, 2011), на 17 Международной научно-практической конференции «Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири» (Сибресурс-17-2011) (г. Томск, 2011), на Международной научно-практической конференции «Оптико-электронные приборы и устройства в системах распознавания образов, обработки изображений и символьной информации (Распознавание-2011)» (г. Алания, 2011), на мероприятиях Московского салона инноваций и инвестиций (г. Москва, 2008, 2010), на XIII Международной выставке-конгрессе «Высокие технологии. Инновации. Инвестиции (Hi-Tech'2008)» (г. Санкт-Петербург, 2008), на IX Международной выставке высокотехнологичной техники и вооружения «ВТТВ-2011» (г. Омск, 2011), на выставке «Автоматика. Приборостроение. Электроника. Электротехника» (г. Томск, 2010).

ИИОТМДС была отмечена 3-мя золотыми и 1-ой бронзовой медалями на международных салонах инновационной продукции. Автор настоящей диссертационной

работы за доклад о разработанной системе в 2011 году получил бронзовую медаль на всероссийской с международным участием конференции SibTest (Горный Алтай, Россия). Кроме этого, в мае 2012 года модификация ИИОТМДС – видеокольпоскоп «ВИКОМЕД-1» была признана лауреатом конкурса «Лучшая продукция, оборудование и услуги» в номинации «Товары народного потребления» в рамках XI выставочно – конгрессионного мероприятия «Дни малого и среднего бизнеса России-2012».

Публикации. По теме диссертации опубликовано 28 работ, в том числе 6 – в изданиях из списка ВАК, 2 в зарубежных изданиях, 1 монография и 1 учебное пособие. Получено 7 свидетельств о регистрации программ для ЭВМ и 1 патент на изобретение. Кроме того, результаты исследований ИИОТМДС изложены в 11 отчетах по НИР и НИОКР, зарегистрированных в ОНТИ НИ ТГУ и ЦИТИС.

Личный вклад автора в получении результатов, изложенных в диссертации состоит в разработке и реализации алгоритмов распознавания патологий поверхностей органов человека по их цветным изображениям, конструктивной реализации и проведении экспериментальных исследований ИИОТМДС, а также организации внутренних испытаний системы.

Структура и объем работы.

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и 4 приложений. Общий объем работы составляет 134 страницы, включая 34 рисунка и 8 таблиц. Список литературы и используемых источников содержит 109 наименований. Общий объем приложений составляет 17 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность темы диссертационной работы, определены цели и задачи исследования, показана научная новизна и практическая ценность работы, изложены научные положения, выносимые на защиту.

В **первой главе** представлен обзор современного состояния исследований и реализованных решений получения различных типов изображений исследуемых органов и систем органов человека с кратким описанием принципов действия медицинских диагностических систем. Также проведена полная классификация всех подходов и методов субъективных, объективных и специализированных исследований обратившегося на прием к специалисту пациента. Автором диссертационной работы представлена собственная классификация подходов и методов получения изображений поверхностей органов пациента (рисунок 1) с включением в неё нового класса медицинских диагностических приборов, отличающихся от уже существующих неинвазивных методов медицинской диагностики тем, что не требует применения специализированных расходных материалов, не сопровождаются облучением исследуемого пациента, являются мобильными и простыми в применении, а также включающие в себя специализированное программное обеспечение, оценивающее наличие патологии исследуемых органов пациента по их цветным изображениям.

Также, в первой главе настоящей работы были сформулированы задачи исследования, успешное решение которых будет показателем достижения поставленной перед соискателем ученой степени цели.



Рис.1 - Классификация методов получения изображения органов человека

Во **второй главе** содержится описание разработанных основ построения ИИОТМДС, имеющей в своем составе аппаратную и программную части.

Аппаратная часть ИИОТМДС обеспечивает более качественное проведение специализированных исследований (кольпоскопическое исследование, исследование ротовой и носовой полостей, исследование состояния кожных покровов и исследование

сосудистого русла пациента). Для этих целей аппаратная часть ИИОТМДС снабжается комплектом насадок, использующихся при проведении различного рода специализированных исследований. Аппаратная часть системы снабжена цветной телевизионной видеокамерой, посредством которой происходит получение цветных изображений исследуемых органов, источником света холодного свечения, обеспечивающим максимально безбликовое освещение исследуемого органа или же систем органов человека, блоком регуляции освещения исследуемых поверхностей, гибким штативом и блоком крепления, позволяющими подстраивать систему к различным антропометрическим характеристикам пациентов.

Программно-алгоритмическое обеспечение ИИОТМДС представляет собой автоматизированное рабочее место (АРМ) специалиста, включающего в себя помимо электронной истории болезни пациента еще и специализированные модули получения и обработки цветных изображений поверхностей исследуемых органов.

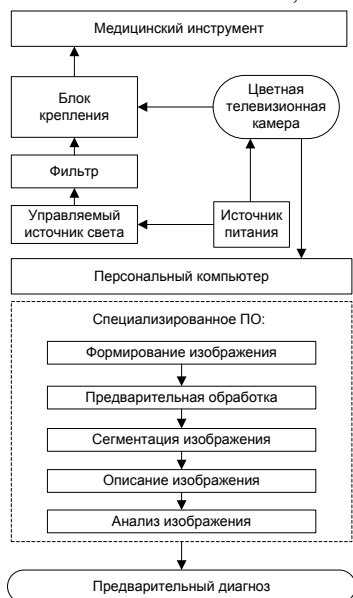


Рис. 2 - Обобщенный алгоритм работы ИИОТМДС

и программной частей ИИОТМДС, ведение электронных историй болезней пациентов и обработку получаемых цветных изображений с целью постановки предварительного диагноза заболевания пациента. На рисунке 2 представлена схема обобщенного алгоритма работы ИИОТМДС, которая охватывает как программную, так и аппаратную части системы. Получаемое изображение прикрепляется к конкретной электронной истории болезни пациента, обратившегося на прием и хранится, наряду с другими данными пациента, в зашифрованном виде в базе данных (БД) специализированного программного обеспечения ИИОТМДС. Затем, при запуске специалистом функции диагностики состояния исследуемых органов по цветным изображениям их поверхностей происходит обработка изображений по стандартным алгоритмам, включающая в себя формирование, сглаживание, фильтрацию грубых шумов полученного снимка исследуемого органа. Основным модулем программной части ИИОТМДС является модуль распознавания патологий исследуемых поверхностей органов человека на предмет наличия, либо отсутствия патологического процесса. В данном модуле реализованы разработанные в ходе работы над диссертацией алгоритмы оценки состояния поверхности органа. Основным модулем программной части ИИОТМДС является модуль распознавания патологий исследуемых поверхностей органов человека на предмет наличия, либо отсутствия патологического процесса. В данном модуле реализованы разработанные в ходе работы над диссертацией алгоритмы оценки состояния поверхности органа.

Новизна алгоритма распознавания патологий исследуемых органов, применяемого в модуле распознавания патологий, заключается в том, что помимо сравнения текущего изображения (ТИ) с хранящимся в базе данных эталонным изображением (ЭИ), включающего в себя сравнение изображений по их морфологическим характеристикам, происходит сравнение спектральных характеристик ТИ и ЭИ, что дает возможность определения наличия патологического процесса на поверхности исследуемых органов еще на ранней стадии его развития, обеспечивая высокую диагностическую значимость разработанной ИИОТМДС.

Обобщая известные подходы преобразования изображений, представим алгоритм распознавания патологий по цветным изображениям органов человека. Для этого нужно преобразовать полученные изображения и выделить информационные признаки, по которым будет происходить сравнение ТИ, формируемого цветной телевизионной камерой с ЭИ, хранимым в базе данных программной части ИИОТМДС. Информативные признаки изображений характеризуются следующим образом:

- a) функцией распределения яркости на изображении поверхности ТИ;
- b) функцией распределения структурных элементов на поверхности ТИ;
- c) функцией определения геометрических параметров структурных элементов на изображении поверхности и степени деформации геометрических элементов для ТИ;
- d) функцией, определяемой параметрами рельефа на поверхности изображения и степенью её деформации ТИ;
- e) функцией распределения цветных элементов на изображении поверхности ТИ;
- f) функцией, определяемой цветными параметрами на изображениях поверхности органа и степенью её деформации на ТИ;
- g) функцией, определяемой распределением цветового спектра ТИ.

В обобщенном виде алгоритм распознавания, оценки местоположения, ориентации и геометрических характеристик патологий представлен следующим образом:

$$I_n \rightarrow F(Y) \rightarrow F(C) \rightarrow F(\Phi) \rightarrow F(\Pi) \rightarrow \begin{cases} F(\Gamma, D) \\ F(P, D) \\ F(\Phi, D) \\ F(\Pi, D) \\ F(\Pi, \Pi), \end{cases}$$

где I_n – информативный признак; $F(Y)$ – функция распределения яркости на изображении поверхности органа; $F(C)$ – функция распределения структурных элементов на изображении поверхности органа; $F(\Phi)$ – функция распределения формы на изображении поверхности органа; $F(\Pi)$ – функция распределения цветных элементов на изображении поверхности органа; $F(\Gamma, D)$ – функция, определяемая геометрическими параметрами структурных элементов на изображении поверхности органа (Γ) и степени её деформации (D); $F(P, D)$ – функция, определяемая параметрами рельефа (P) на изображении поверхности органа и степенью её деформации; $F(\Phi, D)$ – функция, определяемая параметрами формы (Φ) на изображении поверхности органа и степенью её деформации; $F(\Pi, D)$ – функция, определяемая цветными параметрами на изображении органа человека (Π) и степенью её деформации (D); $F(\Pi, \Pi)$ – функция, определяемая цветными параметрами на изображении органа человека (Π) и характером поверхности исследуемого органа (Π).

В процессе работы синтезированных алгоритмов оценки наличия патологий на цветных изображениях поверхностей исследуемых органов человека последовательно происходят необходимые процедуры предварительной обработки изображений (формирование, фильтрация, сегментация и так далее). Затем происходит формирование корреляционных функций и сравнение характеристик ТИ и ЭИ.

На этапе формирования корреляционных функций формируются три цветные взаимно – корреляционные функции (ВКФ), соответствующие красному, зеленому и синему цвету. Эти слагаемые ВКФ описываются следующими выражениями, представленными в цифровой форме:

$$J_R(\varepsilon, \tau) = K_n \sum_{i=1}^n F_1^C(x(i), y(i)) * F_2^R(x(i) - \varepsilon, y(i) - \varepsilon);$$

$$J_G(\varepsilon, \tau) = K_n \sum_{i=1}^n F_1^C(x(i), y(i)) * F_2^G(x(i) - \varepsilon, y(i) - \varepsilon);$$

$$J_B(\varepsilon, \tau) = K_n \sum_{i=1}^n F_1^C(x(i), y(i)) * F_2^B(x(i) - \varepsilon, y(i) - \varepsilon).$$

где $F_1^C(x(i), y(i))$ – функция, описывающая цветное ТИ; $F_2^R(x(i), y(i))$, $F_2^G(x(i), y(i))$, $F_2^B(x(i), y(i))$ – функции, описывающие соответственно красную, зелёную и синюю компоненту цвета; K_n – коэффициент пропорциональности.

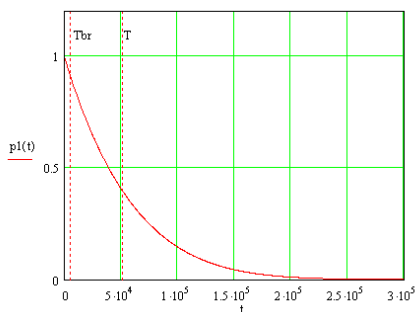
Кроме этого, в ходе работы над второй главой диссертационной работы была сформирована методика инженерного расчета ИИОТМДС, включающая в себя:

1. Вычисление емкости памяти ИИОТМДС. Производится расчет объема видеoinформации, обрабатываемого во время получения цветного изображения исследуемой поверхности органа.

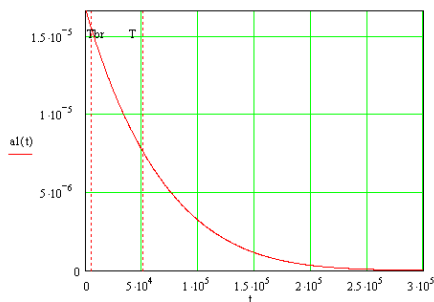
2. Расчет быстродействия ИИОТМДС. Под быстродействием понимается время обработки одного кадра изображения фиксированного размера ($N \times N$ пикселей). Расчет производится согласно выражению: $T_0 = (m * \tau_k) + (m * \tau_{обр} \left(\frac{N}{\sqrt{m}} \right))$, где τ_k – период повторения кадров; $\tau_{обр}$ – затраты времени на обработку одного фрагмента, являющегося функцией числа элементов $N \times N$ в фрагменте. При помощи данного выражения происходит расчет времени получения и передачи изображений исследуемых органов цветной камерой, входящей в состав ИИОТМДС. Кроме этого, необходимо учитывать вычислительные мощности персонального компьютера, на котором установлено программное обеспечение ИИОТМДС. Экспериментальным путем во время испытаний системы на базе ОАО «НИИПП» было установлено, что минимальное время обработки одного кадра изображения посредством ИИОТМДС составило 5,48 мс.

3. Выбор устройств и их характеристик, необходимых для выполнения функций, возложенных на ИИОТМДС в части получения качественного цветного изображения исследуемых поверхностей органов человека. В состав источника освещения поверхности органа должны входить светодиоды, выдающие световой пучок с длиной волны в диапазоне 400-700 нм, матрица цветной телевизионной камеры, в свою очередь, должна воспринимать излучения от исследуемого объекта с длинами волн 400-700 нм. Чувствительный элемент цветной телевизионной камеры должен быть не менее 1,3 мП, минимальное разрешение получаемого цветного изображения – не менее 1024x768 пикселей. Интерфейс передачи цветных изображений – не хуже USB 2.0.

4. Расчет надежности системы. Был произведен расчет времени безотказной работы системы, который показал, что при вероятности безотказной работы всех компонентов системы (ее аппаратной части) равной 90% это время ($T_{бр}$) составляет 5421 час при времени работы системы составляющем 8 часов/день. Средняя наработка системы на отказ (T) при этом составляет 51450 часов. На рисунке 3 представлены полученные графики зависимостей времени безотказной работы ИИОТМДС (Рисунок 3а) и времени наработки на отказ элементов системы (Рисунок 3б) от времени.



а)



б)

Рис. 3 – Зависимость работы ИИОТМДС от времени.

а) время безотказной работы ИИОТМДС

б) время наработки на отказ элементов ИИОТМДС

В третьей главе описывается реализация аппаратной и программной частей ИИОТМДС. Функциональная схема аппаратной части представлена на рисунке 4.

ИИОТМДС обладает техническими характеристиками, представленными в таблице 1.

Таблица 1. Технические характеристики ИИОТМДС.

Характеристика	Значение
Максимальное разрешение цветной телевизионной камеры, pixel	2592 x 1944
Чувствительный элемент	1/2,5 CMOS
Размер пикселя, мкм.	2,2 x 2,2
Время обработки одного кадра изображения, не более, с.	5
Масса ИИОТМДС без упаковки, не более, кг.	2
Потребляемая прибором мощность, не более, В*А	2,5
Напряжение питания, В	5
Интерфейс взаимодействия с ПК	USB 2.0 – 3.0
Габаритные размеры, не более, мм (ШхВ)	130x730
Размеры считываемого изображения поверхности, мм	От 30x30 до 50x50

ИИОТМДС включает в себя следующие блоки: медицинский инструмент (при необходимости), блок крепления, блок схема видеоизображения (БСВ), источник света, источник питания, сенсорный регулятор освещения, специализированное программное обеспечение, компьютер. Телевизионная камера, установленная на медицинском инструменте, воспринимает цветное изображение поверхности исследуемого органа. С помощью источника света холодного свечения создается равномерное освещение исследуемой поверхности органа. Источник освещения устанавливается рядом с объективом цветной телевизионной камеры. Цветное изображение поверхности органа записывается через специализированные интерфейсы в память ЭВМ. Таким образом, формируется база данных патологий (изменений поверхности внутреннего органа). Записанные цветные изображения сравниваются с эталонными изображениями поверхностей органов человека, которые хранятся в памяти ЭВМ, и производится оценка состояния поверхностей органов человека.

Кольцевой источник света был разработан специально для ИИОТМДС с целью получения максимально качественного цветного изображения исследуемых органов с минимальным количеством бликов на нем. Это связано с тем, что при освещении внутренних органов человека возникает большое количество бликов, которые могут скрыть очаг патологии исследуемого органа пациента, что, соответственно, поспособствует постановке неверного диагноза заболевания специализированным модулем программного обеспечения ИИОТМДС. В состав источника освещения (Рисунок 5) входят светодиоды, выдающие световой пучок с длиной волны в диапазоне 400-700 нм. (Рисунок 6). В качестве приемника изображений поверхностей исследуемых органов используется цифровая камера, матрица которой способна воспринимать излучения от исследуемого объекта с длинами волн 400-650 нм.

Данные характеристики позволяют получать цветные изображения исследуемых органов без искажения параметров их цветопередачи, вследствие чего будет минимизирована ошибка оценки состава спектральных характеристик изображений исследуемого органа при его анализе на наличие, либо отсутствие патологического процесса.

После разработки детальной структурной схемы было собранно два образца ИИОТМДС (рисунок 7) – образец для исследования шейки матки, кожных покровов, ушной и ротовой полостей, а также образец для опосредованной оценки состояния капиллярного русла по капиллярам эпонихия пальцев рук пациента.

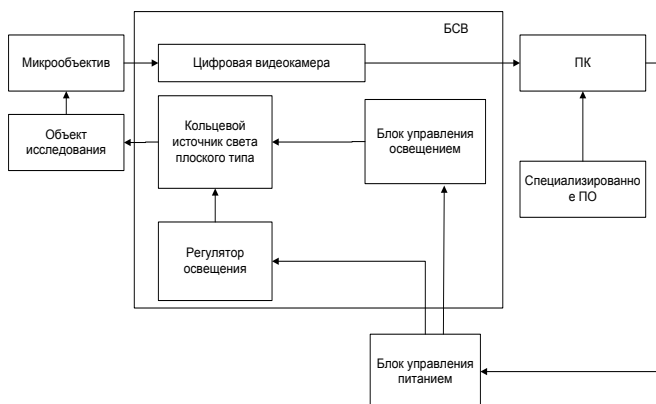


Рис. 4 – Функциональная схема ИИОТМДС

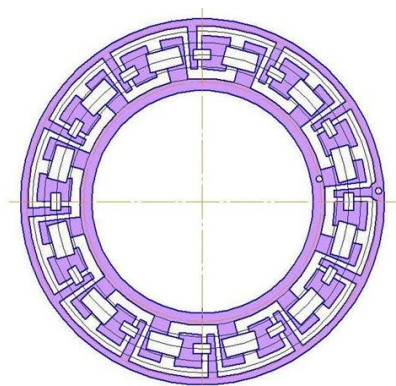


Рис. 5 - кольцевой источник освещения ИИОТМДС.

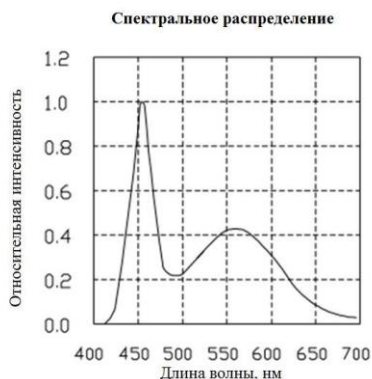


Рис. 6 - спектральные характеристики светодиодов, входящих в состав кольцевого источника освещения ИИОТМДС

Образцы включают в себя как аппаратную, так и программную части. Программное обеспечение ИИОТМДС, реализованное в ходе работы над третьей главой диссертационной работы, позволяет вести электронные истории болезней пациентов, интегрировать ИИОТМДС в телемедицинские сети и проводить обработку получаемых цветных изображений исследуемых органов с целью автоматической постановки предварительного диагноза заболевания пациента. Модуль постановки предварительного диагноза строится на разработанных во второй главе диссертации алгоритмах распознавания патологий.



а)



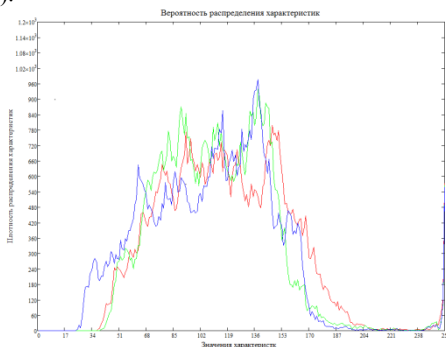
б)

Рис. 7 – внешний вид модификаций ИИОТМДС: а) неинвазивная диагностика состояния внутренних органов человека; б) неинвазивная диагностика состояния кровеносного русла человека

В **четвертой главе** описываются результаты поверки и экспериментальных исследований ИИОТМДС.

Подробно описываются методики испытаний аппаратной и программной частей ИИОТМДС и освещаются результаты проведенных испытаний. Также, в четвертой главе диссертационной работы описываются проведенные экспериментальные исследования ИИОТМДС. В ходе проведения экспериментальных исследований была показана применимость разработанных и реализованных в специализированном программном обеспечении ИИОТМДС алгоритмов оценки наличия патологий поверхностей исследуемых органов человека по их цветным изображениям.

Экспериментальные исследования проводились при использовании модификации ИИОТМДС для неинвазивной диагностики состояния шейки матки – видеокольпоскопа «ВИКОМЕД». Совместно с врачами-гинекологами клиник акушерства и гинекологии СибГМУ (г. Томск) была наработана база из 100 изображений поверхности шейки матки человека, которые использовались при доказательстве применимости предлагаемого метода для постановки предварительного диагноза заболевания пациента. Графики на рисунке 8 представляют распределение яркостей R, G и B компонент на исследуемых изображениях (Рисунок 8).



а)

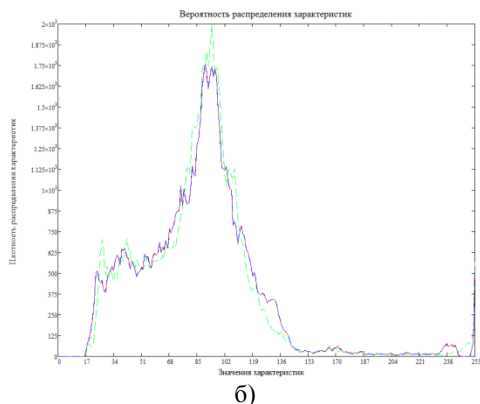


Рис. 8 Графики плотностей распределения характеристик цветных изображений поверхности шейки матки: а) без патологии; б) с патологическим процессом.

Из рисунка 8 видно, что при наличии патологического процесса на поверхности шейки матки (рисунок 9б) происходит смещение значения яркостей R, G и B компонент влево, вследствие чего можно предположить о наличии патологического процесса. Также во время эксперимента были выявлены предельные характеристики значений яркостей каждого из цветовых каналов цветного изображения, характерные для поверхностей исследуемых органов человека, не имеющих патологического процесса (на примере изображений поверхности шейки матки):

1. Канал R: [110..140] - интенсивность красного цвета пикселя;
2. Канал G: [103..120] - интенсивность зеленого цвета пикселя;
3. Канал B: [107..130] - интенсивность синего цвета пикселя.

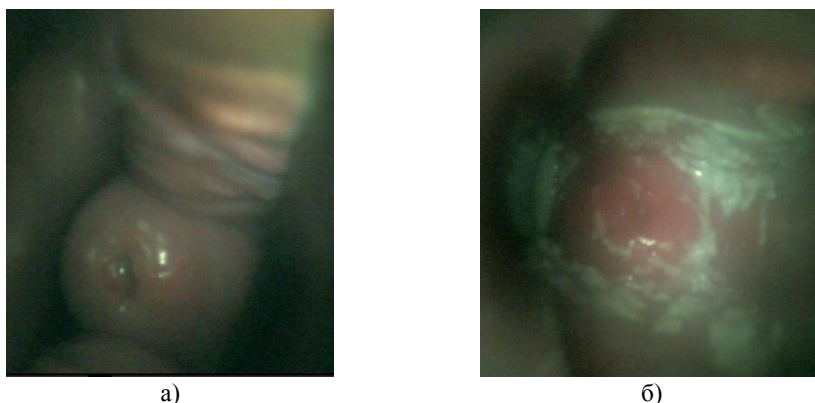
Таким образом, можно сказать, что если внутри исследуемой области математическое ожидание распределения яркостей каждого из цветовых каналов имеет представленные значения, то исследуемая область не имеет патологии (патологический процесс не наблюдается). При смещении же значения математического ожидания влево либо вправо можно говорить о наличии, какого либо патологического процесса на поверхности исследуемого органа.

Каждое из цветных изображений поверхности шейки матки, полученных в результате эксплуатации ИИОТМДС на базе клиник акушерства и гинекологии СибГМУ (г. Томск) было подвергнуто анализу при помощи специализированного блока программного обеспечения ИИОТМДС с целью поиска на них патологического процесса. Во время получения и анализа данных каждого из изображений, получаемых при помощи ИИОТМДС выполнялась следующая последовательность действий:

1. Формирование освещения. Настройка уровня освещенности исследуемой поверхности органа человека. Осуществляется посредством ПО ИИОТМДС.
2. Подстройка параметров датчика текущих изображений (цветной телевизионной камеры). При необходимости осуществляется регулировка фокусного расстояния камеры системы.
3. Получение и сохранение в базе данных системы изображения поверхности исследуемого органа.
4. Обработка изображения исследуемого органа:
 - нормализация яркости полученного изображения.

- фильтрация шумов на полученном изображении.
 - сегментация изображения. Происходит сегментация полученного изображения исследуемого органа и выделение области распознавания (ОР). ОР является объект, поверхность которого необходимо исследовать.
 - обработка ОР. Происходит подсчет распределения яркостей каждого из цветовых каналов изображения и отнесение выделенного участка либо к классу патологии, либо к классу здорового органа.
 - выделение на цветном изображении именно тех областей, которые были признаны содержащими патологический процесс.
5. фиксация результата. Происходит вывод результата обработки цветного изображения на экран персонального компьютера (или ноутбука) специалиста, осматривающего пришедшего на прием пациента.

Проведенные экспериментальные исследования ИИОТМДС на предмет правильности распознавания наличия патологий поверхностей исследуемых органов показали, что в 86 из 100 случаев при помощи ПО ИИОТМДС были распознаны патологии исследуемого органа пациента (эксперимент проходил на изображениях поверхности шейки матки человека). В 14 же случаях ПО выдало результат о наличии патологии с вероятностью примерно 0,01%, что не дает право судить о наличии патологического процесса на поверхности исследуемого органа.



а)

б)

Рис. 9 Изображения исследуемого органа:

а) Без патологии;

б) с патологическим процессом

Эксперты, которыми выступали врачи-гинекологи клиник акушерства и гинекологии Сибирского государственного университета (г. Томск) также не смогли принять решение о наличии, либо отсутствии патологии поверхности исследуемого органа и направляли пациента на дополнительные исследования.

Кроме этого, во время проведения внутренних испытаний системы было показано, что по своим техническим характеристикам ИИОТМДС полностью соответствует предъявленным требованиям, а также выявлены наиболее значимые характеристики цветных изображений, позволяющие отнести анализируемые изображения поверхностей органов человека к определенному классу патологий.

Заключение

В результате работ по достижению поставленной цели была предложена собственная классификация методов и средств неинвазивной диагностики состояния поверхностей органов человека с включением в неё нового класса медицинских диагностических приборов, осуществляющих анализ поверхностей органов человека по их цветным изображениям. Предлагаемый метод отличается от уже имеющихся тем, что при его использовании не требуется применения специализированных расходных материалов, во время исследования пациент не подвергается никаким сторонним воздействиям (например, рентгеновское излучение), а также тем, что для использования таких приборов медицинскому персоналу не требуется прохождения какого-либо дополнительного обучающего курса.

Также для достижения поставленной цели было разработано специализированное алгоритмическое обеспечение, позволяющее в режиме реального времени анализировать цветные изображения поверхностей органов человека на предмет наличия их патологий. Алгоритмы оценки состояния органов человека базируются на алгоритмах распознавания образов, используемых в системах технического зрения, робототехники и на экспериментальных данных, полученных во время доклинических и клинических испытаний программно-аппаратного комплекса (ИИОТМДС). Алгоритмическое обеспечение реализовано в программном обеспечении ИИОТМДС, представляющим собой электронную историю болезни с отдельным модулем распознавания очагов патологического процесса поверхностей шейки матки, ушной и ротовой полостей, а также кожных покровов. Помимо программно-алгоритмического обеспечения для ИИОТМДС была разработана аппаратная часть, которая позволяет максимально комфортно, быстро и качественно получить цветные изображения поверхностей исследуемых органов человека. Универсальность прибора достигается за счет применения специализированных сменных насадок, позволяющих проводить специализированные исследования пациентов и применяться в медицинских подразделениях различной направленности.

Таким образом, при работе над данной диссертационной работой были решены следующие задачи:

1. Выработаны требования и разработана обобщенная схема ИИОТМДС, включающая в себя аппаратный блок и специализированное программное обеспечение, позволяющее проводить диагностику различных патологий органов человека (гинекология, дерматология, отоларингология).
2. Разработан алгоритм формирования и предварительной обработки изображений и синтезировано на основе ИИОТМДС автоматизированное рабочее место (АРМ) врача-специалиста.
3. Синтезированы алгоритмы распознавания патологий на цветных изображениях органов человека путем выделения и анализа признаков сравниваемых изображений.
4. Разработана методика инженерного расчета ИИОТМДС.
5. Реализована и экспериментально исследована ИИОТМДС.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в изданиях, входящих в перечень ВАК:

1. В. И. Сырямкин, Д. С. Жданов, Г. С. Глушков, В. А. Бородин Интеллектуальные интегрированные структурно-перестраиваемые системы контроля и мониторинга широкого применения. Журнал «Контроль. Диагностика» №11, Москва, 2011. - С. 37-41.
2. Сырямкин В. И., Буреєв А. Ш., Жданов Д. С., Осипов А. В., Проектирование автоматизированной системы телемедицинских консультаций. Журнал «Телекоммуникации» №4, Москва, 2010, - С. 9-13.
3. Сырямкин В. И., Байков А. Н., Буреєв А. Ш., Жданов Д. С., Осипов А. В. Разработка автоматизированной системы телемедицинских консультаций. Журнал Бюллетень Сибирской медицины, г. Томск, №6, 2011 г. – С.125-130
4. Сырямкин В. И., Буреєв А. Ш., Жданов Д. С. Работа врачей - узких специалистов в системе телемедицины. Журнал «Телекоммуникации» №11, Москва, 2009 - С. 14-18
5. Сырямкин В. И., Глушков Г. С., Бородин В. А., Жданов Д. С. Интегрированные акусто-оптико-телевизионные методы неинвазивной диагностики твердых наноматериалов. Журнал Дефектоскопия, г. Екатеринбург, №11, 2011г. – С. 48-62
6. Сырямкин В. И., Жданов Д. С. Обработка цветных изображений в оптико-телевизионных системах распознавания, навигации и диагностики. Журнал «Телекоммуникации» №1, Москва, 2010 – С. 30-34

Публикации в других изданиях:

7. Буреєв А. Ш., Жданов Д. С., Сырямкин В. И., Юрченко В. И. Современные технологии в медицинских приборах для визуализирующей диагностики. Журнал ПОЛУПРОВОДНИКОВАЯ СВЕТОТЕХНИКА №3'2011, С. 10-12.

Зарубежные публикации:

8. V. I. Siyamkin, D. S. Zhdanov, Processing color images in optical television systems on recognition, navigation and diagnosis, Telecommunications and Radio Engineering, Vol. 71, №15, 2013, Pp. 1399-1403.
9. V. I. Siyamkin, G. S. Glushkov, V. A. Borodin, D. S. Zhdanov, Integrated optoacoustic-television method for the nondestructive testing of solid nanomaterial's, Russian Journal of Nondestructive Testing, Vol. 47, Issue 11, 2011, Pp. 754-756.

Монографии:

10. Буреєв А. Ш., Жданов Д. С., Сырямкин В. И. Медицинские диагностические и терапевтические системы. Принципы проектирования и построения медицинских программно-аппаратных комплексов. LAMBERT Academic Publishing, Saarbrücken, Germany 2012. – 257 с.

Учебные пособия:

11. Бубенчиков М. А., Газиева Е. Э., Гафуров А. О., Глушков Г. С., Жданов Д. С., Саньков Д. В., Сырямкин В. И., Шидловский С. В., Юрченко А. В., Современные методы исследования материалов и нанотехнологий: Учебное пособие (Лабораторный практикум); под редакцией д. т. н., профессора В. И. Сырямкина. – Томск: Изд-во Том. Ун-та, 2010. – 366 с.

Публикации в сборниках статей и тезисов:

12. В. И. Сырямкин, А. Н. Байков, А. Э. Сазонов, А. В. Юрченко, **Д. С. Жданов** и др. Проведение проблемно-ориентированных поисковых исследований в области инструментальных и приборных средств и технологий их применения для жизнеобеспечения и защиты человека и животных Сб. тезисов всероссийской конференции «Живые системы» – Москва, 2008. – 270с. – С. 156-158.

13. В.И. Сырямкин, Г.С. Глушков, В.С. Шидловский, А.О. Гафуров, **Д.С. Жданов**, И.Н. Рожнев, Л.С. Соломонов, Л.П. Каменский, В.И. Юрченко Алгоритмическое и программное обеспечение интегрированных корреляционно-экстремальных навигационных систем. - Сборник материалов 16 Санкт-Петербургской международной конференции по интегрированным навигационным системам, Санкт-Петербург, Изд. ИННИ «Электроприбор» 2009 – С. 179-181.;

14. **Д.С. Жданов**, Ю.Ю. Липовцева, А.В. Осипов Исследование программного обеспечения диагностических систем для контроля и аттестации органических материалов. – Сб. статей международной конференции «Полифункциональные наноматериалы и нанотехнологии» / Под ред. Г.Е. Дунаевского, В.В. Козика, В.И. Сырямкина, М.А. Гавриленко. – Томск, 2008. – Том 1.– С. 193-196.;

15. **Жданов Д. С.** Автоматизированные рабочие места врачей специалистов для системы телемедицины Материалы докладов Всероссийской научно – технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР – 2009» - Томск, 2009. – Часть – С. 89 - 92.

16. Сырямкин В. И., Буреєв А. Ш., **Жданов Д. С.**, Осипов А. В. Проектирование системы отложенных телемедицинских консультаций Сборник материалов IX международной конференции «Оптико – электронные приборы и устройства в системах распознавания образов, обработки изображений и символической информации (Расознавание – 2010), С. 281-282.

17. Сырямкин В. И., Буреєв А. Ш., **Жданов Д. С.**, Осипов А. В., Саньков Д. В. Метрология телемедицинских систем Сборник материалов IX международной конференции «Оптико – электронные приборы и устройства в системах распознавания образов, обработки изображений и символической информации (Расознавание – 2010), С. 283-284;

18. Сырямкин В. И., **Жданов Д. С.**, Глушков Г. С., Катина А. М. «Корреляционные системы технического зрения с телевизионным датчиком изображений различных размерностей и цветностей для экстремальной робототехники» материалы XX международной научно-практической конференции «Экстремальная робототехника, нано-, микро- и макророботы, Таганрог – Санкт – Петербург, 2009 - стр. 369-371;

19. Siryamkin V. I, Bureyev A. Sh, **Zhdanov D. S.** Software engineering of intellectual optical-television medical diagnostic system. 9th International Conference "Pattern Recognition and image analysis: New information Technologies" (PRIA-9-2008): Conference proceedings. Vol. 2. / Editorial board: Yu. I. Zhuravlev, Yu. G. Vasin, R. G. Strongin, I. B. Gurevich, H. Humann, S. V. Zherzdev, V. V. Yashina, Yu. O. Trusova – Nizhni Novgorod, 2008. – p. 189.

20. Siryamkin V.I., Bureyev A.Sh., **Zhdanov D.S.** «Automatic work-station development for a strictly specialized doctor with an integrated MOTDs for internals condition diagnosing» 9th International Conference «Pattern Recognition and Image

Объекты интеллектуальной собственности, полученные при написании диссертации:

21. Сырямкин В. И., Буреев А. Ш., **Жданов Д. С.** Патент на изобретение (№2429779 от 22 июля 2009 года) «Способ диагностики состояния органов человека или животного и устройство для его осуществления».

22. **Жданов Д. С.**, Буреев А. Ш., Сырямкин В. И., Осипов А. В. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ (№ 2010616940 от 18 октября 2010 г.) «Модуль формирования шаблонов для автоматизированной информационной системы отложенных телемедицинских консультаций».

23. **Жданов Д. С.**, Буреев А. Ш., Сырямкин В. И., Осипов А. В. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ (№ 2010616941 от 18 октября 2010 г.) «Мобильный центр для автоматизированной информационной системы отложенных телемедицинских консультаций».

24. **Жданов Д. С.**, Буреев А. Ш., Сырямкин В. И., Осипов А. В. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ (№ 2010616942 от 18 октября 2010 г.) «Модуль базы данных для автоматизированной информационной системы отложенных телемедицинских консультаций».

25. **Жданов Д. С.**, Буреев А. Ш., Сырямкин В. И., Осипов А. В. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ (№ 2010616943 от 18 октября 2010 г.) «Модуль трансляции аудио и видеоинформации для автоматизированной информационной системы отложенных телемедицинских консультаций».

26. **Жданов Д. С.**, Буреев А. Ш., Сырямкин В. И., Осипов А. В. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ (№2009615927 от 26 октября 2009 г.) «АРМ для медицинских учреждений дерматологического профиля».

27. **Жданов Д. С.**, Буреев А. Ш., Сырямкин В. И., Осипов А. В. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ (№2009615928 от 26 октября 2009 г.) «АРМ для медицинских учреждений ангиологического профиля».

28. **Жданов Д. С.**, Буреев А. Ш., Сырямкин В. И., Осипов А. В. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ (№2009615929 от 26 октября 2009 г.) «АРМ для медицинских учреждений отоларингологического профиля».