

На правах рукописи

КЫЧКИН Алексей Владимирович

**ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА
ДЛЯ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ СОСУДОВ**

**Специальность 05.11.16 –
Информационно-измерительные и управляющие системы
(в промышленности и медицине)**

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

Уфа – 2010

Работа выполнена на кафедре
«Информационные технологии и автоматизированные системы»
ФГОУ ВПО «Пермский государственный технический университет»

Научный руководитель: кандидат технических наук,
доктор экон. наук, профессор
Файзрахманов Рустам Абубакирович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Галиев Анвар Лутфрахманович
Стерлитамакская государственная
педагогическая академия им.
Зайнаб Биишевой, проректор по НР и ИД

кандидат технических наук, доцент
Бакусов Леонид Михайлович
Уфимский государственный авиационный
технический университет, доцент кафедры
«Автоматизированные системы управления»

Ведущая организация: Ижевский государственный
технический университет

Защита состоится « 16 » июня 2010 года в 10⁰⁰ часов
на заседании диссертационного совета Д-212.288.02
Уфимского государственного авиационного технического университета
по адресу: 450000, Уфа-центр, ул. К.Маркса, 12, УГАТУ

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Уфимского
государственного авиационного технического университета.

Автореферат разослан « _____ » _____ 2010 г.

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



Утляков Г.Н.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. К настоящему времени накоплен большой фактический материал по изучению, разработке и внедрению в медицинскую практику методов исследования гемодинамики, моделирования пульсового движения крови в сосудах и установления диагностических признаков состояния кровеносной системы человека (Asmar R., Бакусов Л.М., Затейщикова А.А., Педли Т., Регирер С.А. и др.). Возросший интерес к этому вопросу объясняется тем, что свойства эластичности сосудов играют большую роль в кровообращении. Однако по данным ВОЗ (2006 г.) во всем мире смертность от сердечно-сосудистых заболеваний занимает первое место (30% от всех заболеваний), по данным World Health Statistics (2008 г.) - 9,7% заболеваний сосудов, 12,2% заболеваний сердца. Высокие показатели заболеваемости сосудистой системы человека, поражение людей все более молодого возраста, делают эту проблему одной из важнейших в современном здравоохранении.

Для решения задач определения параметров сосудов и способов оценки их состояния применяют сфигмографический метод (Валтнерис А.Д., Власова С.П., Савицкий Н.И. и др.), основанный на анализе графического изображения формы пульсовой волны (ПВ), и являющийся доминантным представителем доступных физиологических подходов. Данный метод реализуется с помощью стационарных комплексов для оценки состояния сосудов. Однако применяемые устройства имеют существенные ограничения и не в полной мере удовлетворяют потребностям практической медицины. Это вызвано низкой оперативностью исследований, высокой стоимостью оборудования, необходимостью высокой квалификации сотрудников, а также проведением обследований в условиях стационара, ограниченностью каналов снятия сигналов и другими факторами. Практика показывает, что главным ограничением, препятствующим корректной постановке диагностических заключений о состоянии сосудов, является то, что число измеряемых параметров фиксировано, и значительная часть информации о состоянии пациента при выявлении заболеваний учитывается не всегда.

Сложившаяся ситуация свидетельствует о развивающемся несоответствии между высоким уровнем заболеваемости и состоянием инструментальных средств для диагностики сосудов человека. Отсюда возникает потребность в исследованиях и разработках перспективных информационно-измерительных систем (ИИС), применение которых позволит увеличить число одновременно регистрируемых параметров, обеспечить передачу измерительной информации в режиме реального времени (РРВ), структурирование и хранение данных, а также оперативную обработку и анализ результатов измерений с использованием программного обеспечения ПЭВМ (Гусев В.Г., Мейзда Ф., Новопашенный Г.Н., Цапенко М.П., Цветков Э.И. и др.). Развитие таких ИИС позволит реализовать новые методы, повышающие эффективность диагностических процедур и обеспечивающие раннюю

диагностику, а также соответствовать своевременности, оперативности и достоверности оценки состояния сосудов.

Таким образом, разработка и исследование метода оценки состояния сосудов и ИИС, осуществляющей автоматизированную регистрацию ПВ, хранение, обработку результатов измерений и комплексный анализ биомедицинской измерительной информации (ИзИ), является актуальной научно-технической задачей.

Цель работы и задачи исследования. Целью работы является повышение оперативности процесса измерений и достоверности оценки характеристик состояния крупных сосудов человека на основе методов и ИИС регистрации и обработки информации о ПВ.

Для достижения цели исследования поставлены и решены следующие **задачи**:

1. Выполнен анализ существующих методов и технических средств оценки состояния сосудов человека;
2. Разработан оригинальный метод оценки состояния сосудов на основе измерения формы и скорости распространения ПВ (СРПВ), обеспечивающий повышение оперативности и достоверности обработки результатов измерений;
3. Предложена ИИС оценки характеристик состояния крупных сосудов человека, обладающая элементами новизны и реализующая предложенный метод оценки состояния сосудов по параметрам ПВ;
4. Разработан комплекс алгоритмов, программное и информационное обеспечение, реализующие процессы взаимодействия и функционирования компонентов ИИС;
5. Проведена экспериментальная проверка функциональных элементов и ИИС в целом по оценке точности характеристик параметров сосудов, а также выполнения классификационных процедур.

Методы исследования основаны на использовании аппарата теории ИИС, методов статистической обработки результатов измерений, информационных технологий, систем реального времени, объектно-ориентированного подхода при создании программ.

На защиту выносятся:

1. Метод оценки состояния сосудов на основе измерения формы и СРПВ, позволяющий повысить оперативность и достоверность диагностических процедур на основе комплексной обработки параметров ПВ, зарегистрированных в нескольких точках наблюдения.
2. Структура ИИС, реализующей предложенный метод оценки состояния сосудов по параметрам ПВ.
3. Комплекс алгоритмов, программное и информационное обеспечение ИИС для оценки состояния сосудов человека, обеспечивающие регистрацию ПВ в режиме реального времени и комплексную обработку результатов измерений.

Научная новизна результатов работы:

1. Предложен новый метод оценки состояния сосудов человека, отличающийся от известных одновременной регистрацией ПВ в различных точках наблюдения одного или разных сосудов с учетом информации о пациенте, суть которого заключается в формировании интегральной оценки состояния сосудов по параметрам формы сигнала ПВ и скорости ее распространения в различных точках поверхности тела человека.

2. Теоретически обоснована структура ИИС оценки состояния сосудов по параметрам ПВ, реализующая предложенный метод, обладающая элементами новизны, отличающаяся от известных модульной структурой, наличием модуля с произвольным числом каналов для измерения, модуля синхронизации, а также модуля накопления данных, модуля обработки результатов измерений и оценки параметров. Применение ИИС предложенной структуры позволяет повысить оперативность и достоверность оценки состояния сосудов. Новизна технического решения подтверждается патентом на изобретение № 2344753 от 27.01.2009 г.

3. Разработаны комплекс алгоритмов, программное и информационное обеспечение ИИС предложенной структуры, обеспечивающие реализацию и взаимодействие функциональных модулей системы, предоставляющие юзабельный интерфейс пользователю, а также возможность воспроизведения результатов измерений и расчета оценок параметров и дальнейшего развития самой ИИС.

Практическая значимость. Программное обеспечение и беспроводные датчики ПВ используются в деятельности Пермской государственной медицинской академии им. Вагнера в учебном процессе и исследованиях при формировании и накоплении знаний о процессах и механизмах возникновения и развития заболеваний сосудов, а также при разработке и обучении новым методикам диагностирования атеросклероза крупных артерий.

Полученные результаты могут быть использованы в медицинских исследовательских институтах для раскрытия ключевых факторов, определяющих необходимость развития методов заблаговременного обнаружения отклонений в работе сосудов, обнаружения начальной стадии развития заболевания и его патологических форм, формирования этапов лечения в зависимости от истории заболеваний. ИИС рекомендована к применению для скрининг-диагностики атеросклероза, пульсовой диагностики, может быть использована в больницах.

Компактность аппаратных средств и возможности тиражирования позволяют использовать ИИС вне стационарных обследований, т.е. в автомобилях скорой помощи, при персональном контроле состояния сосудов, для контроля здоровья персонала опасных производств и др. Система может применяться при массовых обследованиях населения, что предусматривает Федеральная целевая программа «Здоровье».

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на научных конференциях и семинарах, в том числе на XV Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых “Современные техника и технологии” (г. Томск, 2009), XI Международной конференции “Проблемы управления и моделирования в сложных системах” (г. Самара, 2009), Всероссийской конференции с элементами научной школы для молодежи “Проведение научных исследований в области обработки, хранения, передачи и защиты информации” (г. Ульяновск, 2009), Всероссийской научно-технической конференции “Энергетика. Инновационные направления в энергетике. CALS-технологии в энергетике” (г. Пермь, 2007), Всероссийской научно-практической конференции “Автоматизированные системы управления и информационные технологии” (г. Пермь, 2006), краевых научно-технических конференциях, научно-методических семинарах Пермской государственной медицинской академии им. Вагнера.

Основные практические результаты, полученные в настоящей работе экспонировались на следующих научных и инновационных выставках: XI Московский Международный Салон промышленной собственности “Архимед-2008” (г. Москва, 2008), I Всероссийский молодежный Конвент (г. Москва, 2008). Разработка “Информационная система диагностики атеросклероза сосудов человека” удостоена медали и диплома II степени на международной выставке “Архимед-2008”, проходившей в рамках XI Московского Международного Салона промышленной собственности “Архимед” г. Москва, 2008 г. Разработка “Информационная система диагностики сосудов человека по пульсовой волне” включена в 100 лучших инноваций России по направлению “Информационно-телекоммуникационные системы” в рамках I Всероссийского инновационного Конвента, г. Москва, 2008 г.

Публикации. Основные результаты диссертационной работы отражены в 14 публикациях, в том числе 3 статьи в рецензируемых журналах из списка ВАК, 1 статья в сборнике научных трудов, 7 материалов конференций, 2 свидетельства об официальной регистрации программы для ЭВМ, 1 патент на изобретение.

Объём и структура работы. Работа изложена на 186 страницах, включает 62 иллюстрации и 13 таблиц, 148 наименования использованных литературных источников на 12 страницах, 3 приложения на 37 страницах.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении изложены основные положения, раскрывающие состояние проблемы и актуальность диссертационного исследования, его научную новизну, практическую значимость, описаны цель и задачи работы.

Первая глава “Современное состояние информационно-измерительных систем в медицинской диагностике” посвящена аналитическому обзору существующих методов, используемых технологий и инструментов для диагностики состояния сердечно-сосудистой системы человека. Изложено

текущее состояние ИИС, осуществляющих сбор, обработку, передачу, хранение и анализ ИЗИ, а также рассмотрены классификации элементов структуры медицинских диагностических систем.

Сделан вывод о недостаточном уровне развития теоретических и практических аспектов создания ИИС, пригодных для лечебных учреждений с целью раннего выявления и профилактики заболеваний сосудов. Поэтому существует реальная потребность в недорогих ИИС для оценки состояния сосудов, обеспечивающих повышение оперативности проведения диагностического обследования больных. Показано, что повышение эффективности оценки состояния сосудов возможно при увеличении объёмов одновременно оцениваемой ИЗИ и количества измеряемых и учитываемых при диагностировании параметров. Это достигается за счет разработки и применения ИИС, включающей в себя: компьютерный регистратор, содержащий первичные измерительные преобразователи; анализатор, обеспечивающий компьютерную обработку измерений; систему многоканальной передачи ИЗИ и сигналов управления (рисунок 1).

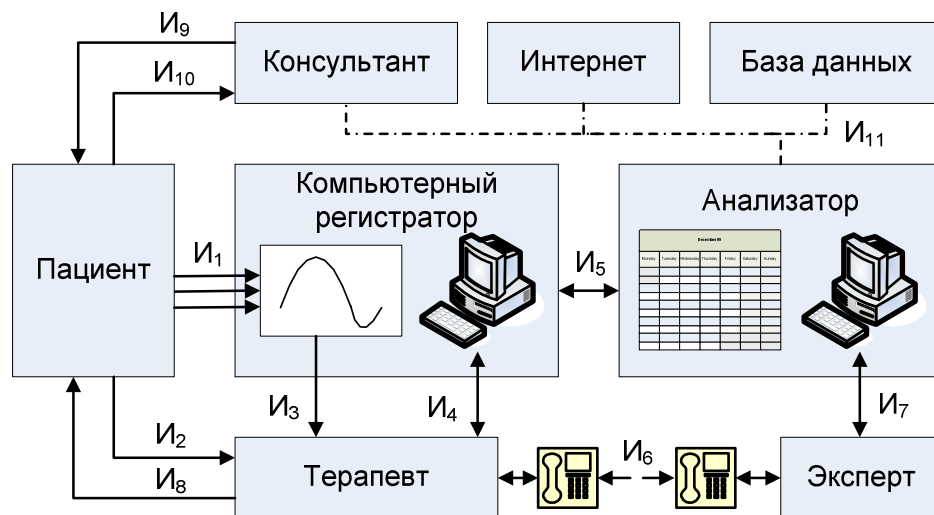


Рисунок 1 – Обобщенная информационная модель ИИС для оценки состояния сосудов человека: I_1 – первичная ИЗИ: данные формы колебаний сосудов; I_2 – дополнительные параметры пациента; I_3 – графическое представление измерений в виде формы ПВ; I_4 – управление командами врача, ввод/вывод информации о пациенте; получение диагнозов; I_5 – передача информации в рамках каналов связи; I_6 – служебная и оперативная информация; I_7 – экспертная оценка и ввод диагнозов, контроль функционирования системы; I_8 – управление командами врача, рекомендации и диагностические заключения; I_9, I_{10} – альтернативное диагностирование сосудов; I_{11} – информационные запросы

Вторая глава посвящена разработке и исследованию ИИС для оценки состояния сосудов на основе обработки результатов измерений сигналов ПВ. Сформулированы особенности и основные требования, предъявляемые к ИИС оценки состояния сосудов. Предложен новый метод оценки состояния сосудов,

обеспечивающий одновременную регистрацию ПВ и формирование интегральной оценки состояния сосудов по параметрам формы сигнала ПВ в различных точках тела человека.

На основании предложенного метода составлена схемы функционирования ИИС для оценки состояния сосудов, гарантирующей эффективную автоматическую регистрацию и ЦОС ПВ, распознавание состояния сосудов. Построена обобщенная функционально-алгоритмическая структура, включающая в себя базовые подсистемы: сбора данных с датчиков ПВ, обработки данных, оценки состояния сосудов, хранения данных (рисунок 2).

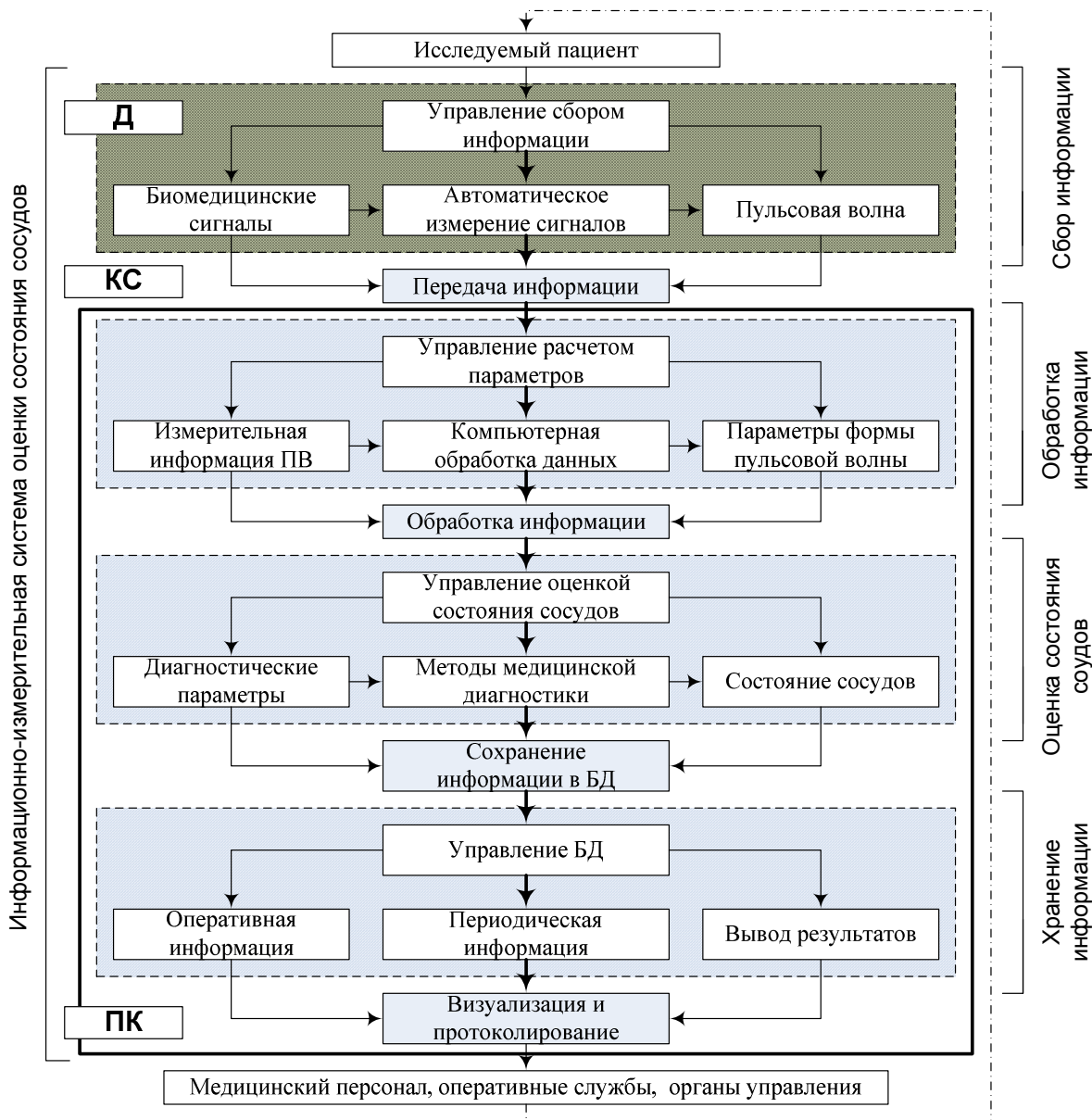


Рисунок 2 – Функционально-алгоритмическая структура ИИС для оценки состояния сосудов. Д – датчики, регистрирующие сигналы ПВ; КС – каналы связи; ПК – персональный компьютер

При использовании существующих методов создания программно-аппаратного обеспечения ИИС, регламентируемых стандартами, учтены

сформулированные особенности и конкретизированы подсистемы на всех этапах ее разработки. Теоретически обоснована структура ИИС оценки состояния сосудов по параметрам ПВ, реализующая предложенный метод, обладающая модульной структурой (рисунок 3а), включающей модуль с произвольным числом каналов для измерения, модуль синхронизации, а также модуль накопления данных измерений и модуль обработки результатов измерений и оценки параметров. Схемотехнически проработаны компоненты ИИС: беспроводные датчики ПВ и УСД (рисунок 3б).

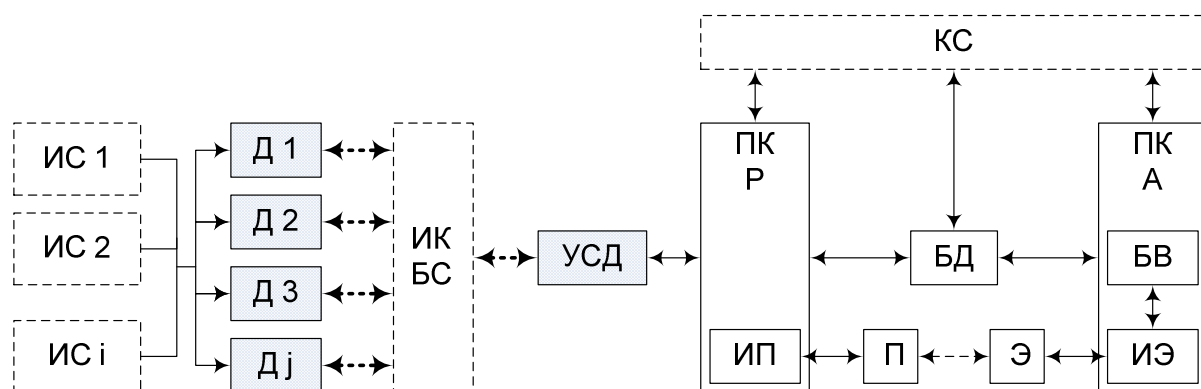


Рисунок 3а – Структура ИИС: ИС i – исследуемый сосуд, Д j – датчики ПВ, ИК БС – измерительный канал на основе беспроводной сети, УСД – устройство синхронизации и сбора данных, ПК Р – компьютерный регистратор, ПК А – компьютерный анализатор, ИП – интерфейс пользователя, ИЭ – интерфейс эксперта, П – пользователь, Э – эксперт, БД – база данных, БВ – блок вывода, КС – компьютерная сеть

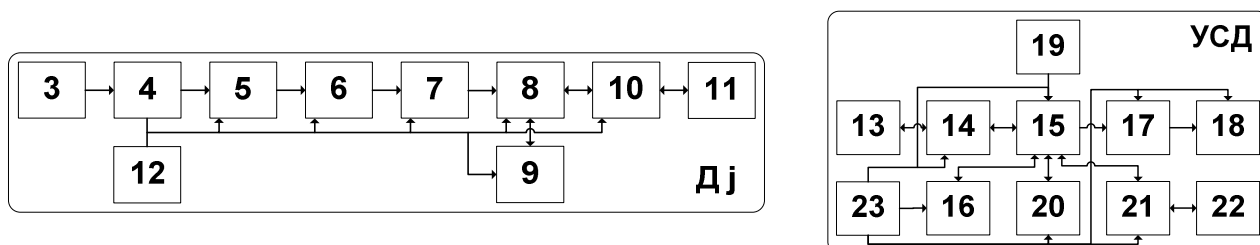


Рисунок 3б – Структура компонентов ИИС: Д и УСД: 3 – пьезоэлектрическая пластина, 4 и 7 – усилитель, 5 и 6 – фильтр, 8 и 15 – МК, 9 и 16 – элемент памяти, 10 и 14 – беспроводной модуль, 11 и 13 – антенна, 12 и 23 – аккумуляторы, 17 – контроллер дисплея, 18 – дисплей, 19 – клавиатура, 20 – GSM-модем, 21 и 22 – драйвер и разъем USB

Следствием предложенной структуры является повышение оперативности и достоверности оценки состояния сосудов, а также повышению масштабируемости ИИС, обеспечении интегрируемости с современными типовыми ПК.

Третья глава “Алгоритмическое и программное обеспечение ИИС” посвящена разработке методов и алгоритмов оценки состояния сосудов человека на основе сбора в РРВ, обработки ИзИ о ПВ с помощью цифровой фильтрации и контурного анализа. В главе также рассматривается структура разработанного программного обеспечения ИИС, реализующего процессы регистрации,

представления и хранения информации о ПВ, а также обеспечивающего автоматизированное получение результатов обработки измерений.

Дается формализованное описание процесса измерения важного диагностического показателя (ДП) – скорости распространения ПВ (СРПВ) и оценки состояния сосудов по нескольким показателям. Для этого введены компоненты: A – множество сигналов ПВ, регистрируемых в точках $O_1 .. O_j$; T – множество моментов времени расчета ДП Δt_j . Сбор информации о ПВ осуществляется с нескольких точек человеческого тела одновременно и синхронизировано, после чего производится расчет временной задержки волны. Зная расстояние между исследуемыми точками, вычисляется ДП – СРПВ. На рисунке 4 приводится графическая интерпретация процесса измерения временной задержки между точками нарастания форм колебаний сосудов.

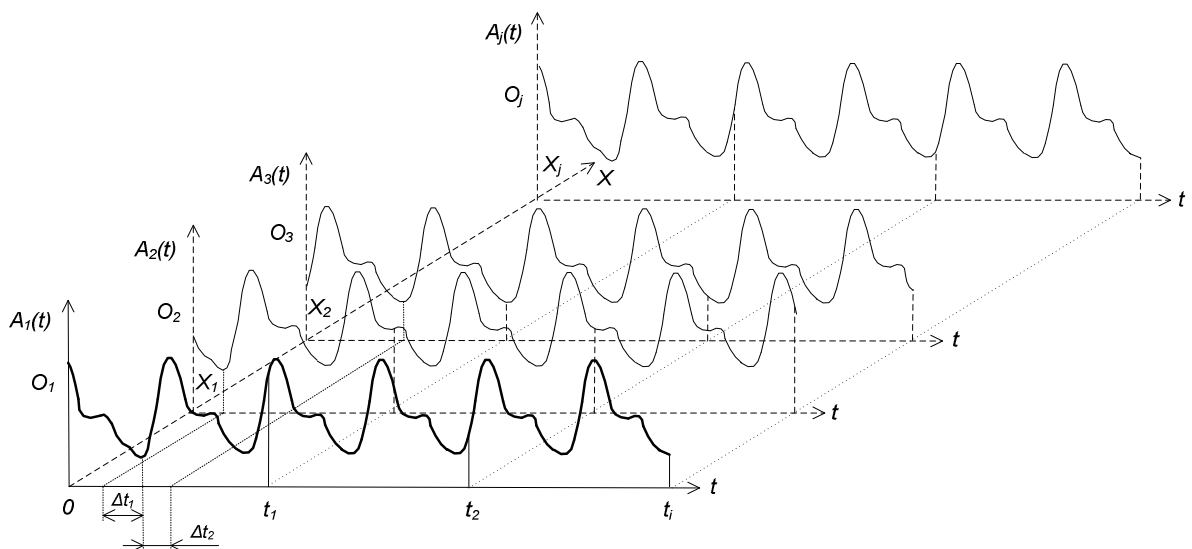


Рисунок 4 – Графическая интерпретация измерений ПВ в РРВ

Предложено для устранения помех и несистематических компонент использовать способ локального усреднения данных с помощью фильтрации, включающей в себя метод устранения случайных одиночных импульсов при движении пациента, вызванных высокой чувствительностью пьезоэлектрического датчика, и сглаживания фильтром простого и экспоненциального скользящего среднего. Предложены алгоритмы, реализующие их численные методы, обеспечивающие высокую производительность при непрерывной автоматической обработке на ПК.

Для решения поставленной задачи по обработке ИзИ и расчету ДП на основании совместного анализа нескольких ПВ предложен метод контурного анализа (рисунок 5). Разработаны алгоритмы обработки ИзИ, позволяющие проводить расчет ДП на основе совместного анализа нескольких ПВ, зарегистрированных в различных точках на сосудах: справа и слева на бедренной, берцовой, плечевой, лучевой, височной артериях, а также на сонной артерии.

Приведена постановка задачи выбора состояния сосудов из множества $D = \{d_1, d_2, \dots, d_n\}$, где n – количество диагнозов. Выбор осуществляется на основе полученных ДП и других параметров пациента: $P = \{p_1, p_2, \dots, p_m\}$, где m – количество параметров. Приняты следующие ДП для заданного типа исследуемой артерии и характеристики пациента: p_1 – СПРВ, p_2 – кровяное давление (систолическое, диастолическое), p_3 – рост, p_4 – вес, p_5 – возраст, p_6 – пол, p_7 – частота пульса (уд/мин). Могут использоваться и дополнительные ДП.

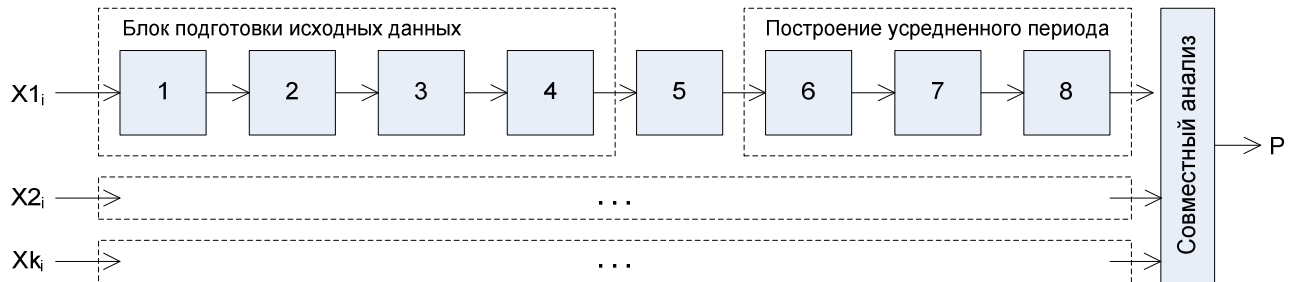


Рисунок 5 – Блок-схема метода обработки ИзИ о ПВ для расчета СПРВ. Компоненты: P – ДП, Xk_i – ПВ в различных точках. Функции: 1 – редактирование, 2 – масштабирование, 3 – предварительная подготовка, 4 – удаление тренда, 5 – идентификация контрольных точек, 6 – определение периодов, 7 – расчет длительности среднего периода, 8 – калибровка периодов

Разработан метод и реализован алгоритм работы подсистемы оценки состояния сосудов, построенный в соответствии с концепцией статистической классификации различных ДП с учетом того, что параметры состояний могут быть известны или определяться экспериментальным путем. Выделяется два основных режима. Первый режим – заполнение БД. В этом случае проводится исследование сосудов и расчет ДП ПВ. Данные о пациенте, сигналы заданной длительностью, зарегистрированные в нескольких точках, и рассчитанные m -ДП P сохраняются в БД, содержащую N измерений. Одновременно с этим, эксперт проводит исследование сосудов данного пациента с помощью известных методов, например с помощью ультразвуковой диагностики. Учитывая историю болезни пациента, эксперт формирует заключение D о стадии развития заболевания, которое заносится в БД. Во втором режиме пользователь ИИС обращается к БД, при этом измеренные параметры исследуемого пациента соотносятся с параметрами классов с известными экспертными заключениями, и определяется результирующее состояние сосудов.

Разработаны алгоритмы работы сети датчиков для режимов инициализации, измерения, обнаружения и компенсации ошибок. Алгоритм измерения основан на совместном параллельном выполнении задач каждого МК в датчиках и УСД. На основании алгоритма работы датчиков создана и исследована модель оригинального адаптированного протокола передачи ИзИ в беспроводной сети датчиков, обеспечивающего на канальном уровне мультиплексирование потоков данных ПВ в РРВ, рисунок 6.

Разработанный протокол позволяет идентифицировать точку наблюдения, обеспечить диспетчеризацию и формирование индексируемых пакетов данных измерений, синхронизацию доступа к каналу передачи информации, обнаружение и компенсацию ошибок. Определено, что максимальное количество таймслотов между синхронизациями в сети с предложенным протоколом равно 45; максимальное число датчиков – 101.

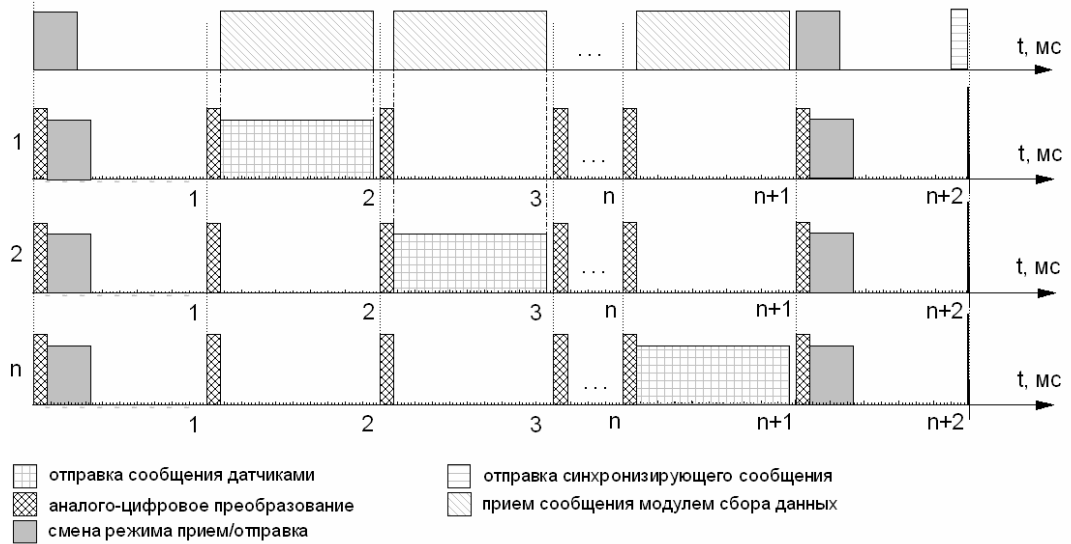


Рисунок 6 – Временная диаграмма протокола передачи данных с датчиков ПВ

Разработана система ПО, предоставляющая пользователю юзабельный интерфейс, обеспечивающий удобство его применения в графическом, диалоговом и *web*-ориентированном режимах работы, логичность и простоту в расположении элементов управления. Система программного и информационного обеспечения включает СУБД, *web*-портал для удаленного доступа к БД и программную инструментальную оболочку, реализующую функционирование программ эксплуатации, представленных на рисунок 7.



Рисунок 7 – Структура программной инструментальной оболочки ИИС

Web-портал включает в себя: модуль аутентификации пользователей; модуль, разбивающий экран на фреймы, содержащие информацию о пациентах, измерениях, график формы ПВ; модуль вывода списка пациентов; модуль вывода результатов измерений; модуль вывода графиков ПВ; модуль ввода данных. Результатом проведенного схемно-структурного проектирования, включающего проектирование логического и физического уровней, получена СУБД-ориентированная структура БД и спецификации прикладных программ.

Высокая эффективность ИИС оценки состояния сосудов достигается благодаря возможностям аппаратной платформы и программной оболочки, обеспечивающим комплексную автоматизацию задач сбора и обработки информации, проверки и редактирования контрольных точек формы ПВ и выполнения расчетов ДП в автоматическом или автоматизированном режиме, идентификации состояния сосудов на основе статистического анализа данных БД; многопользовательского режима; кроссплатформенности; масштабируемости.

В четвертой главе рассматриваются вопросы реализации и результаты исследования ИИС. Создана печатная плата и произведен монтаж компонентов аппаратной платформы ИИС, содержащей беспроводной датчик ПВ, имеющий компактные размеры, и УСД (рисунок 8, 9). На рисунке 10 показан датчик ПВ с чувствительным элементом и манжетой для крепления.

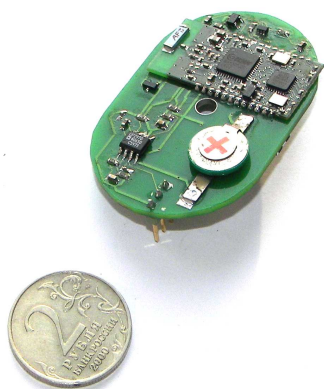


Рисунок 8 – Внешний вид датчика ПВ

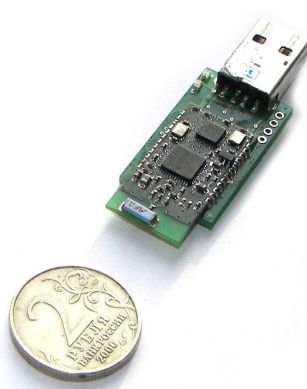


Рисунок 9 – Внешний вид УСД

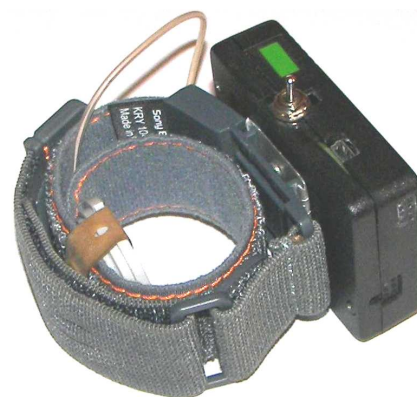


Рисунок 10 – Внешний вид датчика ПВ с манжетой

Разработаны портативные беспроводные датчики регистрации ПВ, использование которых необременительно для пациента. Проведенный анализ конструкции датчиков показал высокий уровень технологичности, соответствующий всем требованиям к современным электронным устройствам и обеспечивающий минимальные затраты промышленного производства при заданных показателях качества.

Программная инструментальная оболочка реализована на объектно-ориентированном языке С#, и все алгоритмы в ней разбиты по классам, каждый из разработанных классов описан в формате UML. Проведено экспериментальное исследование сбора, обработки и анализа реальных

сигналов ПВ. Для обеспечения устойчивой и безошибочной беспроводной передачи ИзИ рекомендовано проводить сбор данных с датчиков ПВ, находящихся на расстоянии не более 5,5 м от УСД.

Результаты диссертационной работы внедрены в ПГМА им. Вагнера, г. Пермь. Установлено, что разработанная ИИС позволяет автоматизировать весь комплекс работ по оценке состояния сосудов на основе исследуемых параметров, повышает оперативность и достоверность диагностических процедур, и может быть использована для скрининг-диагностики, выявления патологических форм заболеваний и в рамках массовых исследований. Разработана методика применения ИИС, позволяющая оперативно подготовить медицинский персонал для работы с системой, сократить время обучения и приобретения навыков медицинским специалистам для работы в рамках ИИС для оценки состояния сосудов.

Проведена оценка значений основных и дополнительных погрешностей результатов обработки измерений и расчета временной задержки распространения ПВ. Для этого была разработана методика статистической проверки результатов обработки на эталонном сигнале длительностью 60 секунд, и стенд экспериментальной проверки на базе микропроцессорного устройства *RTCUC-D4*. Для работы инструментальной программной оболочки с экспериментальной установкой создан программный модуль, включающий в себя блок работы с таблицей БД, хранящей результаты экспериментальной проверки, а также блок анализа результатов обработки измерений, реализующий расчет погрешности. Результаты исследования точности представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты исследования погрешности измерений датчиков ПВ

№ п/п	Наименование погрешности и ее характеристики	Заданная задержка (мс) и значение погрешности					Среднее значение
		20	40	60	80	100	
1	Абсолютная погрешность	0,3	0,2	0,5	0,3	0,4	0,34
2	Относительная погрешность	4,6567	2,4377	1,6809	1,0615	1,0877	2,1865
3	Систематическая составляющая погрешности	0,2083	0,75	0,3333	0,0333	0,0667	0,2783
4	Средняя квадратическая погрешность	1,4944	1,5492	1,5811	1,3375	1,7127	1,5350

Проведенные исследования с помощью разработанной методики и экспериментального стенда для оценки точности измерений датчиков ПВ подтвердили работоспособность ИИС. Полученные результаты говорят о высокой точности измерения датчиками временных интервалов на коротких и продолжительных диапазонах измерений. Экспериментальные исследования позволил установить, что вероятность ошибки классификации в системе обработки измерительной информации составляет 0,045.

Результаты использования ИИС в ПГМА и городской клинической больницы №2 имени Ф.Х. Граля г. Перми при обследовании студентов и больных показали, что форма ПВ у здоровых людей по основным структурным параметрам совпадает. С другой стороны, наблюдается изменение характеристик формы в зависимости от состояния человека, состояния его сосудов, что свидетельствует о важности оценки формы сигнала ПВ в использовании при диагностике различных заболеваний. Аналогично показала себя оценка скорости распространения пульсовой волны. Независимо от количества точек процедура измерения и расчет оценок занимает несколько минут, что в разы меньше времени исследования традиционными методами только для одной точки.

Предложенная ИИС позволяет реализовать дистанционную распределенную схему диагностики заболеваний сосудов в целях формирования интегральных оценок по различным категориям и слоям населения и определения мер по профилактике. Сформулированы основные направления развития ИИС, ее перспективы, а также рекомендации к практическому применению. Дальнейшее развитие научных исследований и их практических приложений возможно по направлению пульсовой диагностики, дистанционных технологий измерений и т.д.

В **заключении** приведены основные результаты и выводы по работе.

В **приложениях** содержатся исходные тексты программ инструментальной программной оболочки и *web*-портала, а также реализация программы для стенда оценки точности датчиков ПВ.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

В диссертационной работе решена актуальная научно-техническая задача повышения оперативности процесса измерений и достоверности оценки характеристик состояния крупных сосудов человека на основе методов и ИИС регистрации и обработки информации о ПВ. Получены следующие основные научные выводы:

1. Анализ существующих средств для оценки состояния сосудов человека позволил сделать вывод о необходимости разработки и исследования доступных методов и ИИС, пригодных для лечебных учреждений с целью раннего выявления и профилактики заболеваний сосудов, обеспечивающих повышение оперативности проведения диагностических обследований.

2. Предложен новый метод оценки состояния сосудов человека, отличающийся от известных одновременной регистрацией ПВ в различных точках наблюдения одного или разных сосудов, суть которого заключается в формировании интегральной оценки состояния сосудов по параметрам формы сигнала ПВ и скорости ее распространения на локальных участках сосудов.

3. Теоретически обоснована структура ИИС оценки состояния сосудов по параметрам ПВ, реализующая предложенный неинвазивный метод. Установлено, что независимо от количества точек процедура измерения и расчет оценок занимает несколько минут, что значительно меньше времени традиционных методов только для одной точки. Новизна технического решения подтверждается патентом на изобретение № 2344753 от 27.01.2009 RU.

4. Разработан комплекс алгоритмов и программы функционирования ИИС предложенной структуры. Создана система ПО с юзабельным пользовательским интерфейсом, включающая в себя СУБД, web-портал, программную инструментальную оболочку, которая позволяет выполнять расчеты СРПВ в автоматическом или автоматизированном режиме, а также проводить имитационное моделирование процедур статистической классификации ДП. Получены свидетельства о регистрации программ “Монитор пульсовой волны” и “WEB-портал монитора пульсовой волны” (№2008615714 и №2008615713 от 28.11.2008 г.).

5. Исследованы особенности и технические возможности функциональных узлов ИИС. На основании разработанного алгоритма работы датчиков создана и исследована модель протокола передачи ИзИ. Подтверждена работоспособность системы с помощью созданного стенда. Установлено максимальное количество таймслотов между синхронизациями измерений – 45; максимальное число одновременно работающих датчиков – 101; вероятность ошибки классификации в системе обработки ИзИ – 0,045.

6. Результаты диссертационной работы внедрены в ПГМА им. Вагнера, г. Пермь. Отработана методика оценки состояния сосудов. В ходе экспериментальных исследований ИИС установлено соответствие морфологии, характерных особенностей ПВ различных артерий и показателя СРПВ результатам, полученным с помощью известных традиционных методов.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

В рецензируемых журналах из списка ВАК

1. Модель синтеза структуры автоматизированной системы сбора и обработки данных на базе беспроводных датчиков / Кычкин А.В. // Автоматизация и современные технологии, 2009, – № 1. – С. 15–20.

2. Алгоритмическое и программное обеспечение информационной системы диагностики атеросклероза / Файзрахманов Р.А., Кычкин А.В. // Проблемы управления, 2009, – № 2. – С. 66–70.

3. Разработка мобильного комплекса регистрации пульсовой волны / Кычкин А.В. // Датчики и системы, 2009. – № 7. – С. 20–24.

В других изданиях

4. Современная информационная система медицинской диагностики сосудов человека / Кычкин А.В., Шиловских П.А., Артемов С.П. //

Автоматизированные системы управления и информационные технологии: обл. науч.-техн. конф., – Пермь, 2005. – С. 49–58.

5. Автоматизированная система дистанционного сбора и обработки информации с датчиков пульсовой волны / Кычкин А.В., Файзрахманов Р.А. // Автоматизированные системы управления и информационные технологии: всерос. науч.-практ. Интернет-конф. – Пермь, 2006. – С. 213–221.

6. Создание программного обеспечения для модулей удаленной телеметрии и управления подвижным объектом. / Файзрахманов Р.А., Кычкин А.В., Франк Т., Беш К. // Энергетика. Инновационные направления в энергетике. CALS-технологии в энергетике: I всерос. науч.-техн. Интернет-конф. – Пермь, 2007. – С. 68–76.

7. Модель системы сбора и обработки данных на основе беспроводных сетей / Кычкин А.В., Файзрахманов Р.А. // Молодежная наука Прикамья – 9: сб. науч. тр. краев. конф. – Пермь, Перм. гос. тех. ун-т, 2008. – С. 100–104.

8. Информационная диагностическая система Pulse Monitor / Файзрахманов Р.А., Кычкин А.В., Трегубов А.А., Шайхатов Р.В., Инго Мури // Электротехника, информационные технологии, системы управления: Вестник ПГТУ. № 2, 2008. – С. 209–215.

9. Монитор пульсовой волны / Кычкин А.В., Файзрахманов Р.А. // Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2008615714 от 28.11.2008 г.

10. Web-портал монитора пульсовой волны / Кычкин А.В., Файзрахманов Р.А. // Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2008615713 от 28.11.2008 г.

11. Патент № 2344753 Россия, МПК А61В 5/02 2007119222/14; заявл. 23.05.07; опубл. 27.01.09, Бюл. №3. Устройство для регистрации скорости распространения пульсовой волны / Кычкин А.В., Файзрахманов Р.А.

12. Протокол синхронизированного сбора данных с датчиков пульсовой волны / Кычкин А.В., Андреев Е.И., Темичев А.А. // Проведение научных исследований в области обработки, хранения, передачи и защиты информации: всерос. конф. с элементами научной школы для молодежи – Ульяновск, 2009. – С. 566–571.

13. Диагностическая модель оценки состояния сосудов человека на основе нечеткого классификатора / Кычкин А.В., Бакунов Р.Р., Кузьмин А.О. // Современная техника и технологии: XV междунар. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. – Томск, 2009. – С. 545–547.

14. Разработка интеллектуальной системы поддержки принятия решений для диагностики атеросклероза / Кычкин А.В., Берг М.Д., Файзрахманов Р.А. // Проблемы управления и моделирования в сложных системах: XI междунар. конф. – Самара, 2009. – С. 491–497.

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА
ДЛЯ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ СОСУДОВ

Специальность 05.11.16 –
Информационно-измерительные и управляющие системы
(в промышленности и медицине)

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Формат 60x90/16.

Набор компьютерный.

Тираж 100 экз.

Редакционно-издательский отдел
Пермского государственного технического университета