

На правах рукописи



НГУЕН Вьет Линь

**АППАРАТНОЕ, ПРОГРАММНОЕ И МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ
ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕСКОНТАКТНОЙ РЕГИСТРАЦИИ И АНАЛИЗА
ПРОЦЕССА ДЫХАНИЯ В МАГНИТОТЕРАПИИ**

Специальность: 2.2.12. Приборы, системы и изделия
медицинского назначения

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Рязань – 2022

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина» на кафедре «Информационно-измерительная и биомедицинская техника».

Научный руководитель: **Гуржин Сергей Григорьевич**,
кандидат технических наук, доцент, доцент
кафедры «Информационно-измерительная и
биомедицинская техника» ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет им. В.Ф. Уткина», г. Рязань

Официальные оппоненты: **Сушкова Людмила Тихоновна**,
доктор технических наук, профессор, профессор
кафедры «Электроника, приборостроение,
биотехнические системы» ФГБОУ ВПО
«Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», г. Владимир
Крамм Михаил Николаевич,

доктор технических наук, доцент, профессор
кафедры «Основы радиотехники» ФГБОУ ВО
«Национальный исследовательский университет «МЭИ», г. Москва
Ведущая организация: ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)»

Защита состоится **16 сентября 2022 года в 12.00 часов 00 мин** на заседании диссертационного совета **24.2.375.03** в ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет им. В.Ф. Уткина» по адресу: **390005, г. Рязань, ул. Гагарина, д. 59/1.**

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет им. В.Ф. Уткина» или на сайте <http://www.rsreu.ru>

Автореферат разослан «__» _____ 2022 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
доктор технических наук, доцент

Г.В. Овечкин

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Одним из надежных и апробированных способов повышения эффективности лечения является оперативная и объективная оценка функционального состояния пациента, особенно на коротких промежутках времени проведения сеансов физиотерапии, когда врач еще может изменить методику и параметры воздействия.

В настоящее время в клинической практике успешно применяются различные средства магнитотерапии и, в частности, аппаратно-программный комплекс магнитотерапии «Мультимаг» общего воздействия магнитным полем на весь организм человека. Учитывая индивидуальные физиологические особенности каждого пациента, конкретный набор заболеваний, уровень здоровья на текущий момент времени, степень чувствительности к виду воздействия, особенно важным становится иметь непрерывную объективную информацию во время сеанса лечения об ответных реакциях его организма на заданные биотропные параметры и дозы воздействия, и быстро оценивать диагностические показатели.

Другим способом повышения эффективности лечения является временное согласование биоритмов пациента с динамикой воздействия, чем достигается одновременно синхронизация и адаптация воздействия. Поэтому возникает необходимость в регистрации, прежде всего, двух основных жизненно важных процессов человека дыхания и сердцебиения, выделении временных положений характерных моментов этих процессов и формировании из них импульсов синхронизации.

Создание средств непрерывного контроля и определения функционального состояния пациента бесконтактным способом непосредственно для систем магнитотерапии позволит максимально автоматизировать и ускорить процесс получения диагностической информации, своевременно, наглядно и качественно представлять врачу реальные изменения процессов дыхания и сердцебиения, количественно измерять их параметры и оценивать медицинские показатели.

Степень разработанности темы диссертационного исследования. Современные методы и средства бесконтактной регистрации физиологических процессов широко используются в клинической медицине для непрерывного контроля и оперативной оценки функционального состояния человека.

Вопросами разработки и проектирования биотехнических систем получения диагностической информации и лечебных воздействий занимаются многие научные коллективы и ученые: Н.А. Корневский, Е.П. Попечителей, С.А. Филист, Л.И. Калакутский, Э.С. Манелис, В.М. Ахутин, А.П. Немирко, С.Г. Гуржин, В.И. Жулев, Е.М. Прошин и др.

Несмотря на многочисленные публикации в области медицинского приборостроения по средствам диагностики и лечебных воздействий остается много неисследованных вопросов, связанных с оперативным, надежным и точным получением информации от пациента во время проведения сеансов

физиотерапии. Подобным проблемам мало уделено внимания в известных источниках и поэтому они становятся еще более актуальными, поскольку решение их позволит ускорить процесс лечения и повысить его качество.

Целью диссертационной работы является повышение эффективности комплексной магнитотерапии на основе разработки способа и алгоритмов бесконтактной регистрации и анализа процесса дыхания пациента.

Для достижения поставленной цели решались следующие **задачи**:

1. Анализ известных методов и средств бесконтактного непрерывного мониторинга процесса дыхания пациента в комплексной магнитотерапии.
2. Разработка способа, алгоритмов и средств бесконтактной регистрации процесса дыхания пациента в комплексной магнитотерапии.
3. Разработка способов, алгоритмов и средств проведения метрологических испытаний бесконтактных датчиков регистрации процесса дыхания пациента.

Объектом диссертационного исследования является система бесконтактной регистрации и анализа процесса дыхания пациента на основе веб-камеры для комплексной магнитотерапии.

Предметом исследования являются: способ, алгоритмы и средства бесконтактной регистрации и анализа процесса дыхания на основе веб-камеры, отличающиеся высоким уровнем автоматизации, точностью и наглядностью полученных результатов.

Научная новизна результатов работы. Получены следующие новые научные результаты:

1. Разработана концептуальная модель и принцип функционирования системы бесконтактного мониторинга процесса дыхания пациента на основе веб-камеры для комплексной магнитотерапии.
2. Разработан способ непрерывной бесконтактной регистрации процесса дыхания пациента во время магнитотерапии на базе веб-камеры.
3. Разработана методика и алгоритмы проведения совместных метрологических испытаний веб-камеры и локационных датчиков с помощью механической меры линейного перемещения.
4. Разработана методика проведения метрологических испытаний веб-камеры с помощью виртуальной меры линейного перемещения.

Практическая значимость. Внедрение разработанного способа, алгоритмов и средств бесконтактной регистрации и анализа процесса дыхания пациента на основе веб-камеры в комплексы магнитотерапии «Мультимаг» и его модификацию «Релаксмаг» позволят повысить эффективность лечения за счет высокого уровня автоматизации, оперативности и точности получения диагностической информации и возможности синхронизировать магнитное воздействие выделяемым ритмом дыхания.

Методы исследования. Результаты исследований, полученные в диссертационной работе, базируются на современной технологии цифровой обработки и анализа изображений – «Компьютерное зрение», методе наимень-

ших квадратов, математическом и имитационном моделировании на ЭВМ с использованием пакетов прикладных программ среды LabVIEW.

Основные положения, выносимые на защиту.

1. Способ, алгоритмы и средства бесконтактной регистрации процесса дыхания пациента на основе веб-камеры, позволяющие полностью исключить погрешности, свойственные локационным датчикам, и повысить точность измерения параметров дыхания во время магнитотерапии.

2. Механическая, многозначная, динамически изменяющаяся мера линейного перемещения, управляемая от компьютера, позволяет воспроизводить перемещения отражающего экрана в двух направлениях по любому закону, с шагом позиционирования 0,003 мм.

3. Виртуальная, многозначная, динамически изменяющаяся мера линейного перемещения на основе компьютера, монитора и виртуальных программных средств, позволяющая воспроизводить перемещения световой метки на экране монитора в любых направлениях, по любому закону.

4. Методика, алгоритмы и экспериментальная автоматизированная установка для проведения метрологических испытаний веб-камеры, позволяющие определять реальную функцию преобразования веб-камеры и оценивать ее приведенную погрешность, как средства измерения линейного перемещения, на уровне 0,7 %.

Достоверность и обоснованность полученных результатов подтверждается: использованием моделей биомедицинских и эталонных испытательных сигналов; применением технологии компьютерного зрения для обработки изображений; использованием понятий теории сигналов и погрешностей измерений; проведением физического моделирования и метрологических испытаний.

Апробация работы. Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на 9 конференциях и форумах разного уровня, а именно: XXXI – XXXIV Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов «Биотехнические, медицинские, экологические системы и робототехнические комплексы – Биомедсистемы-2018 – 2021» (г. Рязань, 2018 – 2021); II – V Международном научно-техническом форуме «Современные технологии в науке и образовании – СТНО-2019 – 2021» (г. Рязань, 2019 – 2021); VI Международной научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов «Энергосбережение и эффективность в технических системах» (г. Тамбов, 2019); 10-я Международной средиземноморской конференции по встраиваемым вычислительным системам «Mediterranean Conference on Embedded Computing – MECO-2021» (г. Будва, Черногория, 2021).

Реализация и внедрение результатов работы.

Результаты работы внедрены в компании ООО «Научно-производственная фирма «РРТИ – ИНТЕРКОМ» г. Рязань, а также использованы в учебном процессе ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радио-

технический университет имени В.Ф. Уткина» на кафедре ИИБМТ.

Внедрения подтверждены соответствующими актами.

Публикации. По теме диссертационной работы опубликовано 22 печатных работ, в том числе 4 статьи в журналах из списка рекомендованных ВАК Минобрнауки России, 9 статей в изданиях по материалам Международных и Всероссийских научно-технических конференций, 1 зарубежная публикация, индексируемая в Scopus и Web of Science, 1 патент РФ на изобретение и 7 свидетельств о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Личный вклад автора. Во всех работах, выполненных в соавторстве, соискателю принадлежит основная роль в формулировке задач, обосновании способов и алгоритмов их решений, в физическом и компьютерном моделировании разработанных средств и анализе полученных результатов.

Содержание диссертационной работы соответствует паспорту научной специальности: 2.2.12. – Приборы, системы и изделия медицинского назначения, пункт 2.

Структура работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 127 наименования и 3 приложений. Общий объем работы составляет 170 страниц, 72 рисунка и 4 таблицы.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы, сформулированы цели и задачи исследований, показаны научная новизна, практические результаты и положения, выносимые на защиту.

В первой главе сделан обзор и анализ дистанционных методов и средств мониторинга процесса дыхания в медицине и в частности в комплексной магнитотерапии.

Выделены три направления мониторинга физиологических процессов организма человека, которые уже давно применяются в медицине ультразвуковая локация, биорадиолокация, оптическая локация, и четвертое направление, которое получает все большее признание и быстро развивается – это видеорегистрация. На рисунке 1 представлены дистанционные методы, которые могут быть использованы для регистрации процесса дыхания в комплексной магнитотерапии.

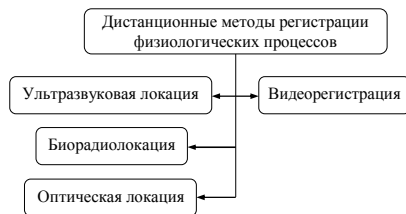


Рисунок 1 – Дистанционные методы мониторинга

Анализ дистанционных методов показал, что локационным методам

свойственны общие недостатки, связанные с формированием и посылкой зондирующих сигналов в сторону объекта и приемом отраженных сигналов от объекта, которые подвергаются влиянию различного рода помех и искажают результаты регистрации. Основной причиной появления непредсказуемых помех, а соответственно погрешностей регистрации, является высокая изменчивость свойств отражающей поверхности одежды пациентов или неодинаковость условий регистрации во время сеанса магнитотерапии для каждого конкретного пациента.

Методы видеорегистрации принципиально отличаются от локационных методов отсутствием зондирующего сигнала переносчика информации, а значит отсутствием, присущих им погрешностей.

Определены информационные параметры и характеристики процесса дыхания пациента, которые во время сеанса магнитотерапии могут служить объективными показателями реакции организма пациента на заданный набор биотропных параметров лечебного магнитного воздействия. Среди них можно выделить параметры, которые подлежат измерению: форма сигнала дыхания в каждом цикле дыхания, длительность каждого отдельного цикла, длительность вдоха и выдоха в каждом цикле, задержка вдоха и выдоха в каждом цикле, максимальная амплитуда вдоха и выдоха в каждом цикле, и др.

В качестве интегрального показателя действия магнитного поля на пациента предлагается использовать неравномерность ритма дыхания (НД), который вычисляется по формуле:

$$НД = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n-1} \frac{|T_i - T_{i+1}|}{T_i + T_{i+1}} \cdot 100\%,$$

где T_i – длительность i -го дыхательного цикла, i – порядковый номер цикла, n – число анализируемых циклов (выборка).

Поскольку любые изменения состояния организма приводят к нарушению регулярности дыхательного ритма, т.е. длительность каждого очередного дыхательного цикла будет отличаться по своему значению от длительностей предшествующих циклов, то длительность дыхательного цикла (ДД) становится важнейшим показателем состояния организма в текущий момент времени.

В связи с изменчивостью ДД приобретает новый смысл понятие частоты дыхания (ЧД), которая определяется выражением

$$\bar{f}_n = \frac{1}{\bar{T}_n} = \frac{n-1}{\sum_{i=1}^{n-1} T_i},$$

где $\bar{f}_n$ – среднее значение ЧД на заданном интервале наблюдения, T_i – длительность i -го дыхательного цикла, i – порядковый номер цикла, n – число

исследуемых циклов (выборка) и $\bar{T}_n = \sum_{i=1}^{n-1} T_i / n - 1$ – среднее значение ДД.

Отмечены особенности непрерывного мониторинга дыхания пациента во время сеанса магнитотерапии.

Вторая глава посвящена разработке системы дистанционного мониторинга процесса дыхания пациента в комплексной магнитотерапии. Предложена структура компьютерной системы мониторинга процесса дыхания пациента на базе комплекса магнитотерапии (рисунок 2).

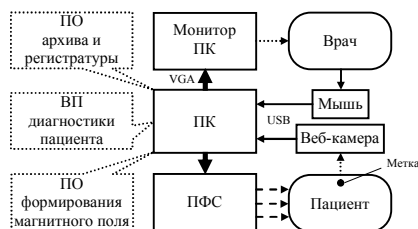


Рисунок 2 – Обобщенная структура компьютерной системы мониторинга процесса дыхания пациента

Аппаратными средствами системы являются персональный компьютер (ПК), полеформирующая система (ПФС), монитор ПК, мышь ПК, веб-камера и метка. Программное обеспечение (ПО) системы состоит из средств формирования магнитного поля, архива и регистратуры пациентов, а также из программ виртуальных приборов (ВП) для регистрации процесса дыхания пациента и диагностики его состояния.

Лечебная методика общего воздействия на весь организм пациента магнитным полем задается, контролируется и корректируется врачом с помощью ПО, монитора ПК и мыши. Дистанционный мониторинг процесса дыхания пациента производится веб-камерой, установленной на определенном расстоянии относительно груди пациента, на которой врач крепит метку в виде самоклеящейся бумажной этикетки (стикера).

Поскольку информационным содержанием любого изображения является большое разнообразие его яркостно-геометрических структур, то для надежного обнаружения и распознавания элементов изображения, где наиболее выражены перемещения тела пациента в процессе дыхания, используется метка, имеющая постоянную форму, цвет, яркость, четкие границы и размер в течение всего сеанса магнитотерапии. Метка одинаково легко и надежно крепится на любой одежде и в любом месте, на груди пациента, и также легко снимается.

В реальных условиях проведения магнитотерапии на исходное изображение, формируемое веб-камерой, могут оказывать влияние условия окружающей среды и другие мешающие факторы. Поэтому необходимо максимально отстроиться от сторонних помех. На рисунке 3 представлен общий

алгоритм преобразования видеоинформации и формирования диагностического сигнала дыхания.

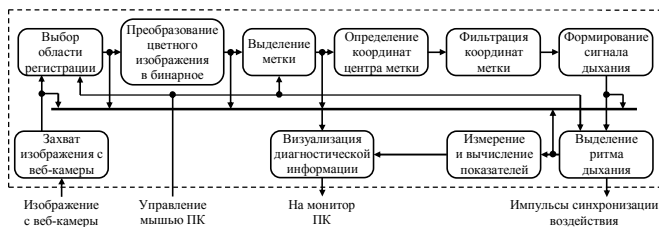


Рисунок 3 – Общий алгоритм преобразования видеоинформации и формирования диагностического сигнала дыхания пациента

На начальном этапе предварительной обработки видеоданных участвует врач, который до задания магнитотерапевтического воздействия закрепляет метку на груди пациента, направляет веб-камеру на метку и включает систему мониторинга процесса дыхания пациента. Захваченное изображение веб-камерой в режиме реального времени отображается на экране монитора ПК, по которому врач с помощью мыши ПК и программы ВП, в соответствии с алгоритмом на рисунке 3, очерчивает прямоугольную рамку вокруг изображения метки размером, равным ее перемещению на экране. На этом этапе преобразований производится исключение всех неинформативных элементов изображения. Выделенный фрагмент изображения с меткой непрерывно и автоматически преобразуется программой ВП из цветного в полутоновое изображение (градации серого), чтобы повысить контрастность изображения метки, а соответственно и точность ее выделения.

На следующем этапе работы программы производится бинаризация изображения или преобразование полутонового изображения в черно-белое с целью разделения изображения только на фон и метку, которая представляет интерес для дальнейшей обработки. Бинаризация выполняется согласно правилу с верхним порогом.

На основании метода Нобуюки Отцу определяется оптимальный порог бинаризации Q , который позволяет минимизировать среднюю погрешность сегментации при отнесении пикселей изображения к метке или фону. Уровни яркости пикселей изображения принимаются в качестве случайных величин, а оценки плотности распределения вероятностей яркостей пикселей метки и фона или их гистограммы распределения служат мерами при определении порога. Если задан порог q , $0 < q < 255$, тогда элементы изображения делятся на два класса, первый класс содержит пиксели с яркостями из множества $(0, 1, \dots, q)$, а другой класс – пиксели с яркостями из множества $(q, q+1, \dots, 255)$.

Гистограммы распределения вероятностей уровней яркостей пикселей

этих двух множеств аппроксимируются нормальным распределением, для которых определяются оценки математических ожиданий яркости пикселей μ_1 и μ_2 , оценки их дисперсий σ_1^2 и σ_2^2 , а также оценки μ и σ для всего изображения.

Критерием разделимости яркостного распределения двух массивов изображения служит функция $k(q) = 1 - \frac{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}{\sigma^2}$.

Критерий $k(q)$ всегда принимает значение в диапазоне $[0,1]$, причем значение его тем больше, чем лучше разделимость яркостного распределения на два класса относительно порога q . В результате вычисления $k(q)$ для всех $q \in [0,255]$ оптимальный порог бинаризации по методу Отцу определяется как $Q = \arg(\max k(q))$, $0 < q < 255$.

На рисунке 4 представлены алгоритм предварительной обработки изображения и определения порога бинаризации (слева), а также алгоритм формирования сигнала дыхания (справа).

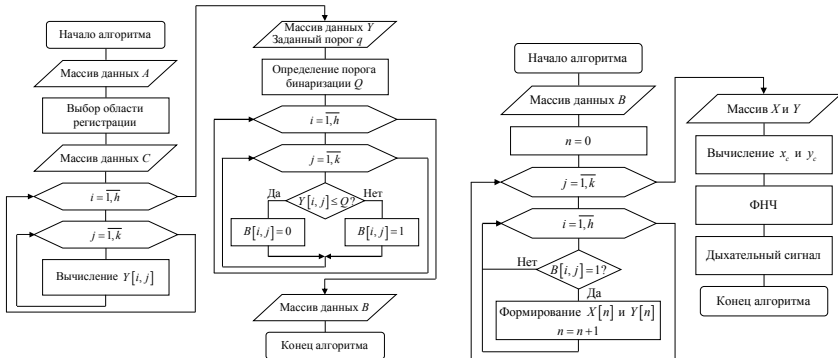


Рисунок 4 – Алгоритм предварительной обработки изображения и формирования сигнала дыхания

После предварительной обработки изображения производится выделение изображения метки и определение ее местоположения на исходном изображении. Разработан алгоритм, который позволяет находить координаты центра тяжести метки через статические моменты (рисунок 4, справа).

Метка рассматривается в плоскости (x, y) фоточувствительной матрицы веб-камеры как область, ограниченная площадью A , координаты центра тяжести которой определяются из выражений:

$$x_c = \frac{S_y}{A} \text{ и } y_c = \frac{S_x}{A},$$

где y_c – расстояние от центра тяжести метки до оси x , x_c – расстояние от

центра тяжести метки до оси y , S_y и S_x – статические моменты метки относительно осей y и x , A – площадь метки.

В качестве элементарных площадок в данном алгоритме выбираются площадки отдельных пикселей изображения метки, площадь каждой из которых A_i равна 1, тогда координаты центра тяжести метки можно записать в

виде $x_c = \frac{1}{A} \sum_{i=1}^n x_i$, $y_c = \frac{1}{A} \sum_{i=1}^n y_i$. Учитывая также, что площадь метки

$A = \sum_{i=1}^n A_i = n$ фактически равна количеству пикселей n , то окончательно ко-

ординаты центра тяжести метки определяются выражениями:

$$x_c = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad y_c = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i.$$

В каждом кадре видеоданных автоматически определяют координаты центра метки в плоскости фото-матрицы веб-камеры, при этом вычисляют среднее значение координат центров множества элементов (пикселей) метки, что позволяет уменьшить случайную составляющую погрешности пространственного положения центра метки в $\sqrt{n}$ раз.

Непрерывно производят фильтрацию полезных компонентов из динамически изменяющихся значений центра метки в допустимом диапазоне частот процесса дыхания человека, что также снижает влияние мешающих факторов. Из очищенных от всевозможных помех значений координат центра метки формируют сигнал дыхания, который воспроизводит перемещения грудной клетки при дыхании пациента и несет ценную диагностическую информацию об ответной реакции организма пациента на заданный набор биотропных параметров магнитотерапевтического воздействия.

Информативные параметры сигнала дыхания автоматически измеряются и рассчитываются различные диагностические показатели, которые позволяют врачу оперативно оценивать текущее функциональное состояние пациента и при необходимости корректировать методику лечения.

Для повышения эффективности лечения магнитным полем выделяют ритм дыхания пациента и формируют импульсы, с помощью которых врач может синхронизировать магнитотерапевтическое воздействие.

Все этапы преобразования видеоданных и их результаты оперативно отображаются на экране монитора ПК и представляются врачу в виде многооконного пользовательского интерфейса.

В третьей главе рассмотрены вопросы исследования погрешности регистрации процесса дыхания веб-камеры и проведения ее метрологических испытаний.

Предложен способ, алгоритм и система, позволяющие имитировать процесс дыхания пациента путем перемещения светового пятна (метки) на

экране монитора ПК с помощью программы ВП по заданному закону и в различном направлении (рисунок 5).

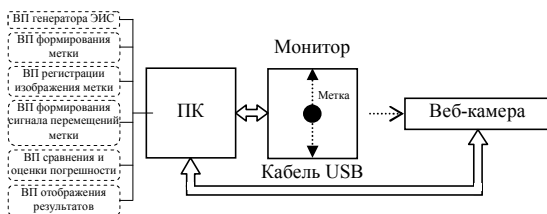


Рисунок 5 – Система метрологических испытаний веб-камеры

Способ предполагает использование трех стандартных общедоступных аппаратных средств: ПК, монитора ПК и веб-камеры. Оригинальными являются программы ВП, которые представляют собой виртуальную меру линейного перемещения метки на экране монитора ПК по закону, заданному эталонным испытательным сигналом (ЭИС) (рисунок 6).

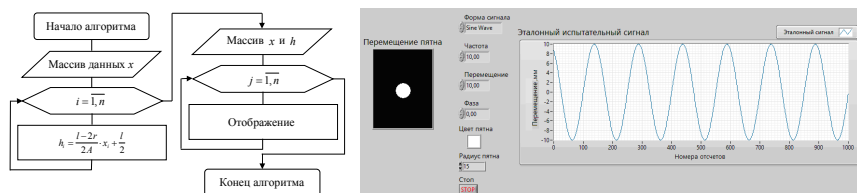


Рисунок 6 – Алгоритм виртуальной меры линейного перемещения и лицевая панель ВП, задающего закон перемещения метки

С помощью ВП формируется ЭИС, который имеет амплитуду перемещения пятна A , определенный массив отсчетов $x_0, x_1, \dots, x_N$ и число перемещений пятна, соответствующих N отсчетам. На этом этапе задается цвет, радиус – r светового пятна и размер поля перемещения пятна высотой – l и шириной – w . При этом должно выполняться условие, что размеры l и w больше чем размер пятна $2r$, а перемещение пятна уместается в заданном поле. На следующем этапе программы формируется массив положений пятна в поле перемещения по вертикали, по заданному закону. Каждое значение отсчета x_i соответствует определенному положению пятна:

$$h_i = \frac{l-2r}{2A} \cdot x_i + \frac{l}{2}.$$

Программа ВП регистрации изображения метки позволяет захватывать изображение метки вместе с фоном с помощью веб-камеры, анализировать изображения, обрабатывать, выделять только элементы метки, регистрировать ее перемещения, определять координаты центра тяжести метки в каждом кадре изображения и формировать форму сигнала из усредненных значений центров метки в виде осциллограммы (рисунок 7).

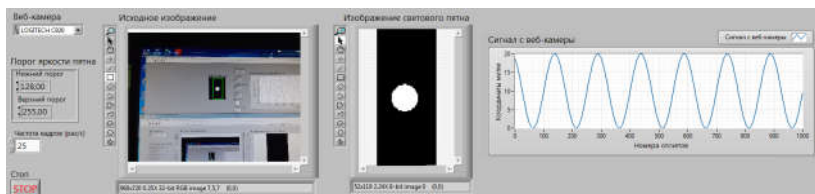


Рисунок 7 – Лицевая панель ВП регистрации перемещения метки и формирования зарегистрированного сигнала с веб-камеры

Программа ВП сравнения и оценки погрешности производит сравнение сигнала перемещения метки, зарегистрированного веб-камерой и ЭИС, путем проведения корреляционного преобразования.

Коэффициент корреляции определяется в соответствии с выражением:

$$r_{xy} = \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) / ((N-1)S_x S_y),$$

где $\bar{x}$, $\bar{y}$ – средние арифметические значения выборок отсчетов ЭИС x и зарегистрированного y сигналов соответственно; x_i , y_i – значения i -ых отсчетов x и y сигналов соответственно; N – объем выборок; S_x , S_y – среднеквадратические отклонения (СКО) x и y сигналов соответственно.

В качестве количественной меры погрешности регистрации исследуемой веб-камеры используется среднее значение абсолютных мгновенных погрешностей отсчетов, определяемое между ЭИС и зарегистрированным сигналом:

$S = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N |x_i - y_i|$, а приведенная погрешность находится из выражения:

$S_{прив} = \frac{S}{x_{max}} \cdot 100\%$, где x_{max} – максимальное значение ЭИС.

Полученные экспериментальные результаты коэффициент корреляции $r = 0,9998$ и приведенная погрешность $S_{прив} = 0,8\%$ подтвердили высокие метрологические характеристики веб-камеры.

Для возможности сравнения результатов регистрации линейных перемещений веб-камерой, ультразвуковым и оптическим датчиками, а также оценки их точности разработан способ, алгоритм и средства проведения совместных метрологических испытаний (рисунок 8).

Основным структурным элементом системы совместных метрологических испытаний является механическая многозначная мера линейного перемещения, которая полностью автоматизирована и управляется от ПК. Мера представляет собой линейный привод, состоящий из шагового двигателя (ШД), червячного вала, каретки и отражающего экрана. Управление ШД осуществляется с помощью драйвера и программы ВП, задающей закон, скорость и шаг (угол поворота ротора ШД) перемещения экрана. Лазерный дат-

чик (ЛД) и ультразвуковой датчик (УЗД) зондируют сигналы в направлении перпендикулярном одной из плоскостей экрана, а на другой плоскости экрана, изогнутой под прямым углом закреплена метка, перемещение которой регистрирует веб-камера.

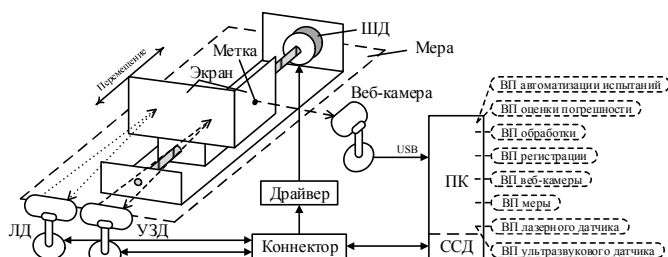


Рисунок 8 – Система совместных метрологических испытаний

Общее управление и синхронизация работы всех средств метрологических испытаний осуществляется с помощью специально разработанного ВП автоматизации испытаний в среде LabVIEW, алгоритм которого представлен на рисунке 9.

Датчики одновременно и непрерывно измеряют перемещение экрана с помощью соответствующих ВП, причем, на каждом шаге перемещения экрана производится 30 измерений с периодом 50 мс, который согласован с динамическими характеристиками испытываемых датчиков.

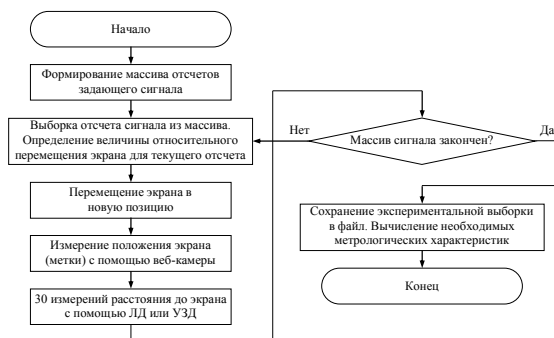


Рисунок 9 – Алгоритм совместных метрологических испытаний

Зарегистрированные сигналы датчиков и веб-камеры нормировались относительно диапазона ЭИС.

Программой ВП произведена оценка погрешностей регистрации перемещений экрана для локационных датчиков и веб-камеры.

Определены абсолютные погрешности Δ (мм), средние абсолютные погрешности $\bar{\Delta}$ (мм) и приведенные погрешность γ (%) регистрации датчиков аналогично выражениям для веб-камеры

$$\Delta = |L_{\text{зад}} - L_{\text{веб-камеры}}|, \bar{\Delta} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta_i, \gamma = \frac{\bar{\Delta}}{L_{\text{max ЭИС}}} \cdot 100\%,$$

где $L_{\text{зад}}$ – значения отсчетов заданного ЭИС, $L_{\text{веб-камеры}}$ – значения отсчетов нормированного сигнала с веб-камеры, i – номер отсчета, n – объем зарегистрированной выборки, $L_{\text{max ЭИС}}$ – максимальное значение отсчетов ЭИС.

Эксперименты показали следующие результаты: для веб-камеры приведенная погрешность регистрации перемещения составила $\gamma = 1,7 \%$; для УЗД $\gamma = 2,9 \%$; для ЛД $\gamma = 6,9 \%$.

Таким образом, при равных и практически нормальных условиях регистрации перемещения отражающего экрана погрешность веб-камеры ниже, чем для локационных датчиков.

Четвертая глава посвящена аппаратно-программным реализациям и экспериментальным исследованиям предлагаемых в работе способов бесконтактной регистрации процесса дыхания на основе веб-камеры и способов проведения метрологических испытаний с использованием разработанных мер линейного перемещения – виртуальной и механической, управляемых программами ВП от ПК.

На рисунке 10 представлен пользовательский интерфейс врача магнитотерапии, который является лицевой панелью программы ВП для регистрации процесса дыхания пациента и формирования диагностического сигнала.

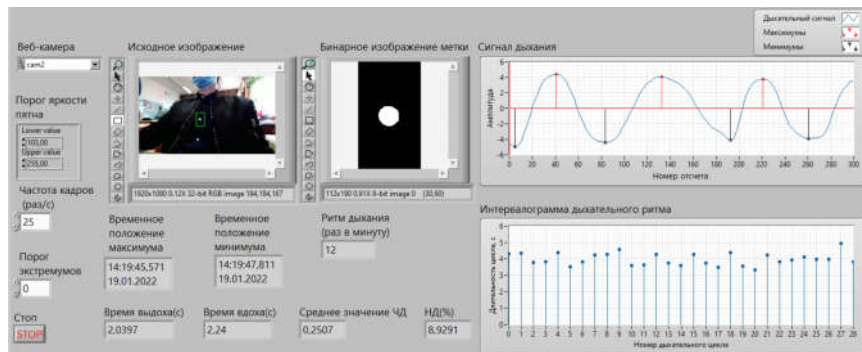


Рисунок 10 – Интерфейс ВП диагностического сигнала дыхания

Осциллограмма сигнала дыхания наглядно показывает неравномерность дыхания человека, даже в относительно спокойном состоянии, о чем свидетельствуют измеренные длительности дыхательных циклов и интервалограмма дыхательного ритма.

На рисунке 11 представлены системы метрологических испытаний, на основе разработанных виртуальной (слева) и механической (справа) мер линейного перемещения, позволяющие количественно оценить погрешность регистрации веб-камеры, ультразвукового и лазерного датчиков.

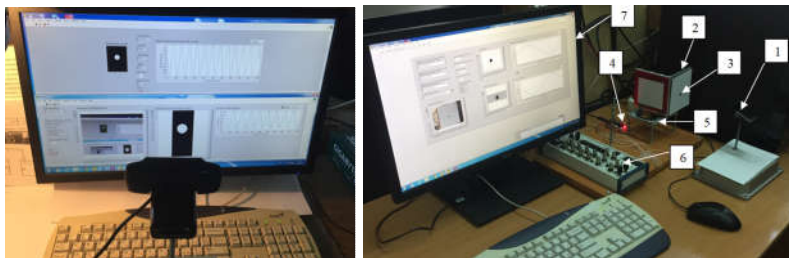


Рисунок 11 – Системы метрологических испытаний с использованием виртуальной меры линейного перемещения механической

С помощью системы с виртуальной мерой линейного перемещения и разработанных программных средств произведено построение номинальной функции преобразования (ФП), когда перемещение выполняется по закону ЭИС, и действительной ФП веб-камеры по ее зарегистрированному сигналу (рисунок 12).

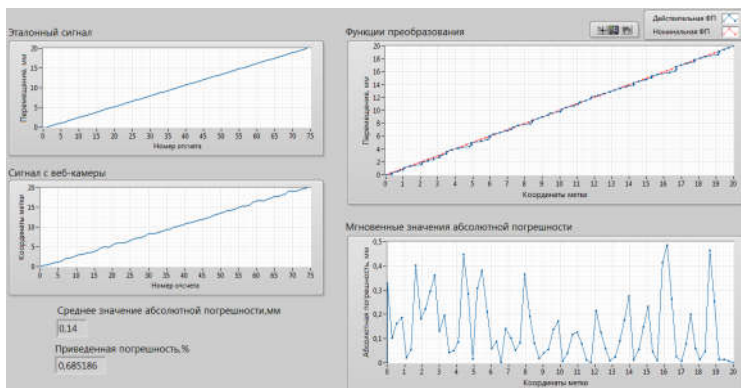


Рисунок 12 – Передняя панель и блок-диаграмма ВП определения ФП и оценки погрешностей

Результаты исследований подтвердили высокие метрологические характеристики веб-камеры, приведенная погрешность которой составила 0,7 %.

В заключении сформулированы основные результаты диссертационной работы:

1. Разработаны способ, алгоритмы и средства бесконтактной регистрации процесса дыхания пациента на основе веб-камеры, позволяющие полностью исключить погрешности, свойственные локационным датчикам, и повысить точность измерения параметров дыхания во время магнитотерапии.

2. Разработана механическая, многозначная, динамически изменяющаяся мера линейного перемещения, управляемая от компьютера, позволяет воспроизводить перемещения отражающего экрана в двух направлениях по любому закону, с шагом позиционирования 0,003 мм.

3. Разработана виртуальная, многозначная, динамически изменяющаяся мера линейного перемещения на основе компьютера, монитора и виртуальных программных средств, позволяющая воспроизводить перемещения световой метки на экране монитора в любых направлениях, по любому закону.

4. Разработаны методика, алгоритмы и экспериментальная автоматизированная установка для проведения совместных метрологических испытаний локационных датчиков и веб-камеры, позволяющие одновременно регистрировать ими линейные перемещения объекта, совершаемые по эталонному сигналу, нормировать зарегистрированные сигналы и определять их приведенные погрешности.

5. Разработаны методика, алгоритмы и экспериментальная автоматизированная установка для проведения метрологических испытаний веб-камеры, позволяющие определять реальную функцию преобразования веб-камеры и оценивать ее приведенную погрешность, как средства измерения линейного перемещения, на уровне 0,7 %.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК РФ:

1. Гуржин С.Г., Нгуен В.Л., Шуляков А.В. Автоматизированная система метрологических исследований фотометрических измерительных преобразователей // Биомедицинская радиоэлектроника, Том 22, №4. 2019. С. 16-22.

2. Гуржин С.Г., Нгуен В.Л. Анализ погрешности при дистанционной непрерывной регистрации сигнала дыхания пациента веб-камерой // Биомедицинская радиоэлектроника. 2020. Т. 23. №3. С. 103-110. DOI: 10.18127/j15604136-202003-13. ISSN 1560-4136.

3. Гуржин С.Г., Нгуен В.Л., Шуляков А.В. Компьютерная система метрологических испытаний локационных датчиков, используемых для мониторинга состояния пациента в магнитотерапии // Биомедицинская радиоэлектроника. 2021. Т. 24. №4. С. 6-16. DOI: 10.18127/j15604136-202104-02.

4. Гуржин С.Г., Нгуен В.Л. Реализация бесконтактного метода мониторинга процесса дыхания и сердцебиения пациента во время сеанса магнитотерапии // Биомедицинская радиоэлектроника. 2021. Т. 24. №4. С. 23-32. DOI: 10.18127/j15604136-202104-04.

Публикации в других изданиях и материалы конференций:

5. Гуржин С.Г., Нгуен В.Л. Сравнительный анализ методов и средств регистрации процесса дыхания. / Биотехнические, медицинские, экологические системы и робототехнические комплексы – Биомедсистемы-2018: сб. тр. XXXI Всерос. науч.-техн. конф. студ., мол. ученых и специалистов / под общ. ред. В.И. Жулев. – Рязань: ИП Коняхин А.В. (Book Jet), 2018. – 528с. С. 269-271.

6. Нгуен В.Л., Гуржин С.Г. Непрерывная регистрация физиологических процессов веб-камерой и формирование диагностических сигналов / II Международный научно-технический форум «Современные технологии в науке и

образовании – СТНО-2019»: сб. тр. II междунар. науч.-техн. форума: в 10 т. Т.6. / под общ. ред. О.В. Миловзорова. – Рязань: Рязан. гос. радиотехн. ун-т, 2019; Рязань. – 218 с. С. 21-25.

7. Пинчукова В.В., Нгуен В.Л., Гуржин С.Г. Система оперативного дистанционного мониторинга дыхания и сердцебиения пациента при прохождении сеанса магнитотерапии / II Международный научно-технический форум «Современные технологии в науке и образовании – СТНО-2019»: сб. тр. II междунар. науч.-техн. форума: в 10 т. Т.6. / под общ. ред. О.В. Миловзорова. – Рязань: Рязан. гос. радиотехн. ун-т, 2019; Рязань. – 218 с. С. 30-33.

8. Нгуен В.Л., Гуржин С.Г. Способ и система непрерывной дистанционной регистрации процесса дыхания пациента во время магнитотерапии / VI Международная научно-техническая конференция студентов, молодых ученых и специалистов «Энергосбережение и эффективность в технических системах»: сб. трудов. – Тамбов: Тамбов. гос. техн. ун-т, Издательство Першина Р.В., 2019. С. 402-404.

9. Гуржин С.Г., Нгуен В.Л. Реализация метрологических испытаний системы дистанционного контроля и измерения диагностических параметров процесса дыхания на базе видеокамеры // Биотехнические, медицинские и экологические системы, измерительные устройства и робототехнические комплексы – Биомедсистемы – 2019: Сб. тр. XXXII Всерос. науч.-техн. конф. студ., мол. ученых и спец. / под общ. ред. В.И. Жулева. Рязань: ИП Коняхин А.В. (Book Jet), 2019. 700 с., С. 500 – 505.

10. Нгуен В.Л., Гуржин С.Г. Компьютерная система дистанционного мониторинга процесса дыхания пациента в составе комплекса хрономагнитотерапии // Биотехнические, медицинские и экологические системы, измерительные устройства и робототехнические комплексы – Биомедсистемы-2020: сб. тр. XXXIII Всерос. науч.-техн. конф. студ., мол. ученых и спец. / под общ. ред. В.И. Жулева. – Рязань: ИП Коняхин А.В. (Book Jet), 2020. – 624 с. С. 48-51. ISBN 978-5-907400-06-1.

11. Нгуен В.Л., Гуржин С.Г. Исследование погрешности дистанционного метода регистрации процесса дыхания с помощью веб-камеры // Современные технологии в науке и образовании – СТНО-2020: сб. тр. III Междунар. науч.-техн. форума: в 10 т. Т.6 / под общ. ред. О.В. Миловзорова. – Рязань: Рязан. гос. радиотехн. ун-т, 2020; Рязань. – 238 с. С. 5- 9. ISBN 978-5-7722-0301-9.

12. Гуржин С.Г., Нгуен В.Л., Шуляков А.В. Исследование действительной функции преобразования бесконтактных датчиков перемещения // Современные технологии в науке и образовании – СТНО-2021: сб. тр. IV междунар. науч.-техн. форума: в 10 т. Т.6. / под общ. ред. О.В. Миловзорова. – Рязань: Рязан. гос. радиотехн. ун-т, 2021. – 226 с. С. 209-213.

13. Гуржин С.Г., Нгуен В.Л. Бесконтактный метод регистрации процесса дыхания пациента и оценки диагностических показателей в магнитотерапии // Биотехнические, медицинские и экологические системы, измерительные

устройства и робототехнические комплексы – Биомедсистемы-2021: сб. тр. XXXIV Всерос. науч.-техн. конф. студ., мол. ученых и спец. / под общ. ред. В.И. Жулева. – Рязань: ИП Коняхин А.В. (Book Jet), 2021. – 412 с. С. 132-136. ISBN 978-5-907400-87-0.

Публикации в международных изданиях

14. S.G. Gurzhin, V.I. Zhulev, M.B. Kaplan, V.L. Nguyen, Ye.M. Proshin, A.V. Shulyakov. Remote Monitoring of Patient's Breathing Process in Complex Chronomagnetoherapy // 10th Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO) 2021 Proceedings – Research Monograph, Budva, Montenegro. P. 316-319. ISBN 978-0-7381-3361-4. DOI: 10.1109 / MECO52532.2021.9460197.

Патенты и свидетельства о регистрации программы для ЭВМ

15. Патент РФ 2766046, А61В 5/00. Способ дистанционной регистрации процесса дыхания пациента и устройство для его осуществления / С.Г. Гуржин, В.Л. Нгуен // Открытия. Изобретения. Оpubл. 07.02.2022. – Бюл. № 4.

16. Гуржин С.Г., Нгуен В.Л. Программа регистрации процесса дыхания пациента с использованием веб-камеры и формирования диагностического сигнала виртуальным прибором в среде LabVIEW. Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2019617928 от 25.06.2019. – Бюл. № 7.

17. Гуржин С.Г., Нгуен В.Л. Программа виртуального прибора в среде LabVIEW для формирования эталонного испытательного сигнала в виде перемещения светового пятна на экране компьютера. Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2019617933 от 25.06.2019. – Бюл. № 7.

18. Гуржин С.Г., Нгуен В.Л., Пинчукова В.В. Программа регистрации сигнала с оптического триангуляционного датчика расстояния до движущегося объекта виртуальным прибором в среде LabVIEW. Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2019617934 от 25.06.2019. – Бюл. № 7.

19. Гуржин С.Г., Шуляков А.В., Нгуен В.Л. Программа метрологических исследований оптического датчика перемещения и оценки погрешности его преобразования. Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2021617649 от 18.05.2021. – Бюл. № 5.

20. Гуржин С.Г., Шуляков А.В., Нгуен В.Л. Программа метрологических исследований ультразвукового датчика перемещения и оценки погрешности его преобразования. Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2021617650 от 18.05.2021. – Бюл. № 5.

21. Гуржин С.Г., Нгуен В.Л., Шуляков А.В. Программа для формирования и воспроизведения регулируемой меры линейного перемещения. Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2021618778 от 01.06.2021. – Бюл. № 6.

22. Гуржин С.Г., Нгуен В.Л. Программа формирования закона для меры линейного перемещения и регистрации закона перемещения объекта с помощью веб-камеры. Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2021619317 от 08.06.2021. – Бюл. № 6.

НГУЕН Вьет Линь

**АППАРАТНОЕ, ПРОГРАММНОЕ И МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ
ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕСКОНТАКТНОЙ РЕГИСТРАЦИИ И АНАЛИЗА
ПРОЦЕССА ДЫХАНИЯ В МАГНИТОТЕРАПИИ**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать 28.06.2022. Формат бумаги 60×84 1/16.
Бумага писчая. Печать трафаретная. Усл. печ. л. 1,0. Тираж 100 экз.

Рязанский государственный радиотехнический университет
имени В.Ф. Уткина.
390005, г. Рязань, ул. Гагарина, 59/1.
Редакционно-издательский центр РГРТУ.