

*на правах рукописи*

**Куцов Михаил Сергеевич**

**ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ КОНТРОЛЯ  
ПРОЦЕДУРЫ СЕРДЕЧНО-ЛЕГОЧНОЙ РЕАНИМАЦИИ ЧЕЛОВЕКА**

Специальность 05.11.17 – Приборы, системы и изделия медицинского назначения

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени кандидата  
технических наук

Томск – 2017

Работа выполнена на кафедре «Управление качеством» Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет».

Научный руководитель: **Сырымкин Владимир Иванович**  
доктор технических наук, профессор,  
Заслуженный работник высшей школы  
Российской Федерации

Официальные оппоненты: **Кориков Анатолий Михайлович**  
доктор технических наук, профессор ФГБОУ ВО  
«Томский государственный университет систем  
управления и радиоэлектроники», заведующий  
кафедрой «Автоматизированные системы  
управления», Заслуженный деятель науки  
Российской Федерации.

**Садыков Султан Сидыкович**  
доктор технических наук, профессор Муромского  
института ФГБОУ ВО «Владимирский  
государственный университет имени Александра  
Григорьевича и Николая Григорьевича  
Столетовых», профессор кафедры  
«Информационные системы».

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего  
образования «Юго-Западный государственный  
университет», г. Курск.

Защита состоится «16» мая 2016 г. в 15.00 часов  
на заседании диссертационного совета: Д 212.269.09, ФГАОУ ВО  
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет»,  
Россия, 634050, г. Томск, проспект Ленина, дом 30.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГАОУ ВО «Национальный  
исследовательский Томский политехнический университет» и на сайте:  
<http://portal.tpu.ru/council/916/worklist>

Автореферат разослан «   » \_\_\_\_\_ 2017 г.

Ученый секретарь диссертационного совета: Васендина Елена Александровна

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** Одной из основных стратегических задач системы здравоохранения Российской Федерации является снижение смертности населения, в том числе в ходе проведения реанимационных мероприятий. При этом процент граждан, обладающих навыками оказания квалифицированной доврачебной (первой) помощи, в том числе реанимационных мероприятий, ничтожно мал. Для примера – в течение 2014 года на территории Томской области правилам оказания первой помощи обучено всего 278 человека (при населении 1070128 человек). Повысить качество проведения сердечно-легочной реанимации (далее - СЛР) людьми, не обладающими достаточными навыками проведения реанимационных мероприятий, можно за счет создания технических средств, которые позволят проводить оценку качества проведения непрямого массажа сердца (далее - НМС) и искусственной вентиляции легких, а также координировать действия реаниматора.

На сегодняшний день на рынке медицинской техники существует несколько моделей устройств иностранного и отечественного производства, которые оценивают правильность проводимых реанимационных мероприятий лишь по косвенным признакам – по степени компрессии грудной клетки или по силе нажатия на нее, что не является достоверными данными о качестве проведения НМС. Также известными устройствами не проводится оценка состояния пациента во время проведения СЛР и не контролируется возникновение собственного сердцебиения. Это является важным аспектом, так как продолжение НМС после появления самостоятельной сердечной деятельности может привести к возникновению травм сердца и развитию функциональных нарушений сердечной деятельности.

Достоверно оценить качество проведения НМС можно путем определения наличия динамики кровотока в сонных артериях пациента, поскольку ее наличие говорит о том, что выполнение непрямого массажа обеспечивает достаточную компрессию камер сердца для выброса из них крови и поддержания жизнеспособности мозга.

Временной промежуток между наступлением клинической смерти и началом реанимационных мероприятий является одним из наиболее важных факторов, влияющих на выживаемость. В связи с этим чрезвычайно важным параметром технических средств контроля проведения реанимационных мероприятий является оперативность процедуры запуска, включающей расположение датчиков на теле пациента. Простота расположения датчиков является особенно важным при проведении реанимационных мероприятий людьми, не обладающими специальными медицинскими навыками.

Исходя из необходимости оперативного расположения датчиков на теле пациента, наиболее подходящим методом регистрации данных о состоянии кровотока является метод анализа акустических данных. Применение этого метода позволяет избежать использования сложных схем расположения датчиков, а также токопроводящих и электропроводящих гелей, необходимых для работы

методов на основе электрокардиографии и ультразвуковых методах исследования. Также важной отличительной особенностью акустического метода является возможность оценивать наличие шумов кровотока, возникающие в результате проведения НМС. Кроме этого, использование акустического метода позволяет избежать влияния электрических помех различной природы.

**Целью работы** является повышение качества проведения сердечно-легочной реанимации путем разработки программно-аппаратного комплекса для контроля сердечно-легочной реанимации человека, обеспечивающего контроль проведения непрямого массажа сердца.

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

1. Разработать концепцию программно-аппаратного комплекса для контроля сердечно-легочной реанимации человека.
2. Разработать алгоритмы предварительной обработки изображений.
3. Разработать алгоритмы определения наличия шумов кровотока в местах бифуркаций сонных артерий.
4. Разработать алгоритмы подсчета количества компрессий при проведении НМС.
5. Реализовать разработанные алгоритмы в виде программно-алгоритмического комплекса и провести экспериментальные исследования для оценки их работоспособности.

**Методы исследования.** В качестве основных методов исследования в работе использованы методы цифрового моделирования работы программного обеспечения для апробации созданных алгоритмов и имитационного моделирования для проведения экспериментальных исследований.

**Научная новизна работы:**

1. Предложена концепция программно-аппаратного комплекса для контроля сердечно-легочной реанимации человека, отличающегося от известных технических решений тем, что позволяет осуществлять контроль и корректировку проведения реанимационных мероприятий, а также оценку состояния пациента.
2. Разработаны алгоритмы анализа акустических данных, отличающийся от уже существующих тем, что позволяет определить факт наличия шумов кровотока в местах бифуркаций сонных артерий независимо от их частотных характеристик, а также обеспечить поиск самостоятельных сердечных сокращений пациента.
3. Разработаны алгоритмы подсчета количества компрессий при проведении сердечно-легочной реанимации пациента, отличающиеся от уже существующих тем, что позволяет осуществить поиск и подсчет моментов, соответствующих моментам прохождения крови по сонным артериям при проведении НМС и собственной сердечной деятельности пациента.

**Научные положения, выносимые на защиту:**

1. Концепция программно-аппаратного комплекса для контроля сердечно-легочной реанимации человека, обеспечивающего решение задач регистрации и анализа акустических данных с целью оценки правильности проведения НМС

сердца и состояния пациента при проведении процедуры сердечно-легочной реанимации.

2. Алгоритмы определения наличия шумов кровотока в местах бифуркаций сонных артерий, основанные на поиске характеристических фрагментов в сигнале и обеспечивающие обнаружение кровотока, возникающего как в ходе проведения НМС, так и в результате собственной сердечной деятельности реанимируемого.

3. Алгоритмы подсчета количества компрессий при проведении НМС и собственных сердечных сокращений пациента, основанные на вычислении и анализе энергии Шеннона и позволяющие определять частоту компрессионных движений при проведении НМС.

#### **Практическая ценность работы.**

1. Принципы построения программно-аппаратного комплекса, обеспечивающего контроль и корректировку действий при проведении процедуры сердечно-легочной реанимации на основании акустических данных, полученных с поверхности тела пациента над местами бифуркаций его сонных артерий.

2. Специализированное программное обеспечение, позволяющее обеспечить оценку корректности проведения НМС на основании результатов анализа акустических данных, характеризующих шумы кровотока в местах бифуркаций сонных артерий пациента.

#### **Реализация и внедрение результатов работы.**

Диссертация является обобщением результатов, полученных в Национальном исследовательском Томском государственном университете (далее – НИ ТГУ) в течение 2014-2016 годов, при участии автора в процессе выполнения прикладных научно-исследовательских работ, осуществляемых при поддержке Министерства образования РФ. Результаты внедрения диссертационной работы отражены в актах внедрения. Результаты работы использованы НИ ТГУ и ООО «Диагностика +» (г. Томск) при разработке и выпуске алгоритмического, аппаратного и программного обеспечения. В эти организации переданы научно-техническая документация, пакеты программного обеспечения. Результаты исследований использованы в учебном процессе НИ ТГУ. Также результаты диссертационной работы использованы в работе, выполняемой в рамках Соглашения о предоставлении субсидии от «28» ноября 2014 г. № 14.578.21.0078 (уникальный идентификатор RFMEFI57814X0078) по теме «Устройство для контроля процедуры сердечно-легочной реанимации человека» ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технического комплекса России на 2014-2020 годы», что подтверждается соответствующими актами внедрения (приложение А).

**Достоверность** полученных в работе выводов и рекомендаций подтверждается теоретическим анализом предложенных гипотез и использованных допущений, результатами экспериментальных исследований.

#### **Апробация работы.**

Основные положения работы и отдельные главы диссертации докладывались, обсуждались, а также представлялись на следующих конференциях и выставках: Научная конференция «Медицинская кибернетика и

междисциплинарная подготовка специалистов для медицины» (г. Томск, 2014); 5-я Международная научная конференция «Новые оперативные технологии» (г. Томск, 2015); XII международная научно-техническая конференция «Опτικο-электронные приборы и устройства в системах распознавания образов, обработки изображений и символьной информации» (г. Курск, 2015). Всероссийская научно-техническая конференция с международным участием «Научная сессия ТУСУР 2015» (г. Томск, 2016). Всероссийская научно-практическая конференция студентов и молодых ученых «Неразрушающий контроль: электронное приборостроение, технологии, безопасность» (г. Томск, 2016); Российская школа-конференция «Информационные технологии неразрушающего контроля» с международным участием (г. Томск, 2015).

### **Публикации.**

По теме диссертации опубликовано 19 работ, в том числе 5 – в изданиях, рекомендуемых ВАК, в том числе 3 в изданиях из баз данных Scopus и Web of Science. Получено 6 свидетельств о регистрации программ для ЭВМ. Кроме того, результаты исследований изложены в 8 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 программно-аппаратного комплекса, для контроля проведения сердечно-легочной реанимации, а также организации внутренних испытаний разрабатываемого программно-алгоритмического комплекса.

### **Структура и объем работы.**

Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы и 2 приложений. Общий объем работы составляет 145 страниц, включая 58 рисунков и 4 таблицы. Список литературы и используемых источников содержит 104 наименования. Общий объем приложений составляет 5 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** диссертационной работы приведен обзор состояния проблемы исследований в данном направлении, обзор методов обработки и анализа сигналов сердечно-сосудистой системы человека, а также осуществлена постановка задач исследований.

Обзор существующих устройств для контроля СЛР показал, что на сегодняшний день отсутствуют системы, позволяющие в полной мере контролировать правильность проведения сердечно-легочной реанимации и состояние пациента.

В ходе работ были рассмотрены наиболее распространенные методы получения сигналов сердечно-сосудистой системы человека, такие как

электрокардиография, ультразвуковые методы исследований и анализ акустических данных. По результатам обзора сделан вывод о том, что анализ акустических данных является наиболее перспективным для решения поставленных задач. Основным преимуществом метода для решения задач контроля реанимационных мероприятий является возможность получать информацию о наличии шумов кровотока, возникающих при правильном проведении НМС. Также, важным преимуществом метода является отсутствие необходимости в большом количестве датчиков, отсутствие необходимости использования токопроводящих и звукопроводящих гелей.

Также был проведен обзор методов обработки и анализа акустических сигналов сердечно-сосудистой системы человека. По результатам обзора была проведена классификация методов получения, обработки и анализа сигналов сердечно-сосудистой системы человека и осуществлена постановка задачи исследований.

**В ходе работ над второй главой** диссертационной работы были разработаны основные принципы функционирования разрабатываемого ПАК:

- обобщенная схема и общий алгоритм функционирования ПАК;
- алгоритм предварительной обработки акустического сигнала сердечно-сосудистой системы человека, обеспечивающий удаление шумовой составляющей сигнала, препятствующей работе алгоритмов определения наличия динамики шумов кровотока и подсчета количества компрессий при проведении НМС;
- алгоритм определения наличия шумов кровотока в местах бифуркаций сонных артерий, с целью контроля проведения НМС и контроля наличия самостоятельной сердечной деятельности пациента;
- алгоритмы подсчета количества компрессий при проведении НМС.

В ходе работ был определен состав функций, необходимых для осуществления контроля правильности проведения СЛР, выполняемый разрабатываемым ПАК:

- определение наличия кровотока в сонных артериях, что позволяет оценить корректность проведения непрямого массажа сердца и определить наличие собственного сердцебиения;
- координация действий реаниматора в ходе проведения СЛР с помощью световых и звуковых сигналов;
- оценка текущего состояния реанимируемого и возможного использования в качестве простейшего монитора состояния пациента.

ПАК было решено реализовать в виде портативного устройства, имеющего в своем составе пульт, включающий в себя органы управления и индикации, и воротник с набором акустических датчиков, регистрирующих шумы кровотока в местах бифуркаций сонных артерий реанимируемого. Общий алгоритм работы ПАК представлен на рисунке 1.

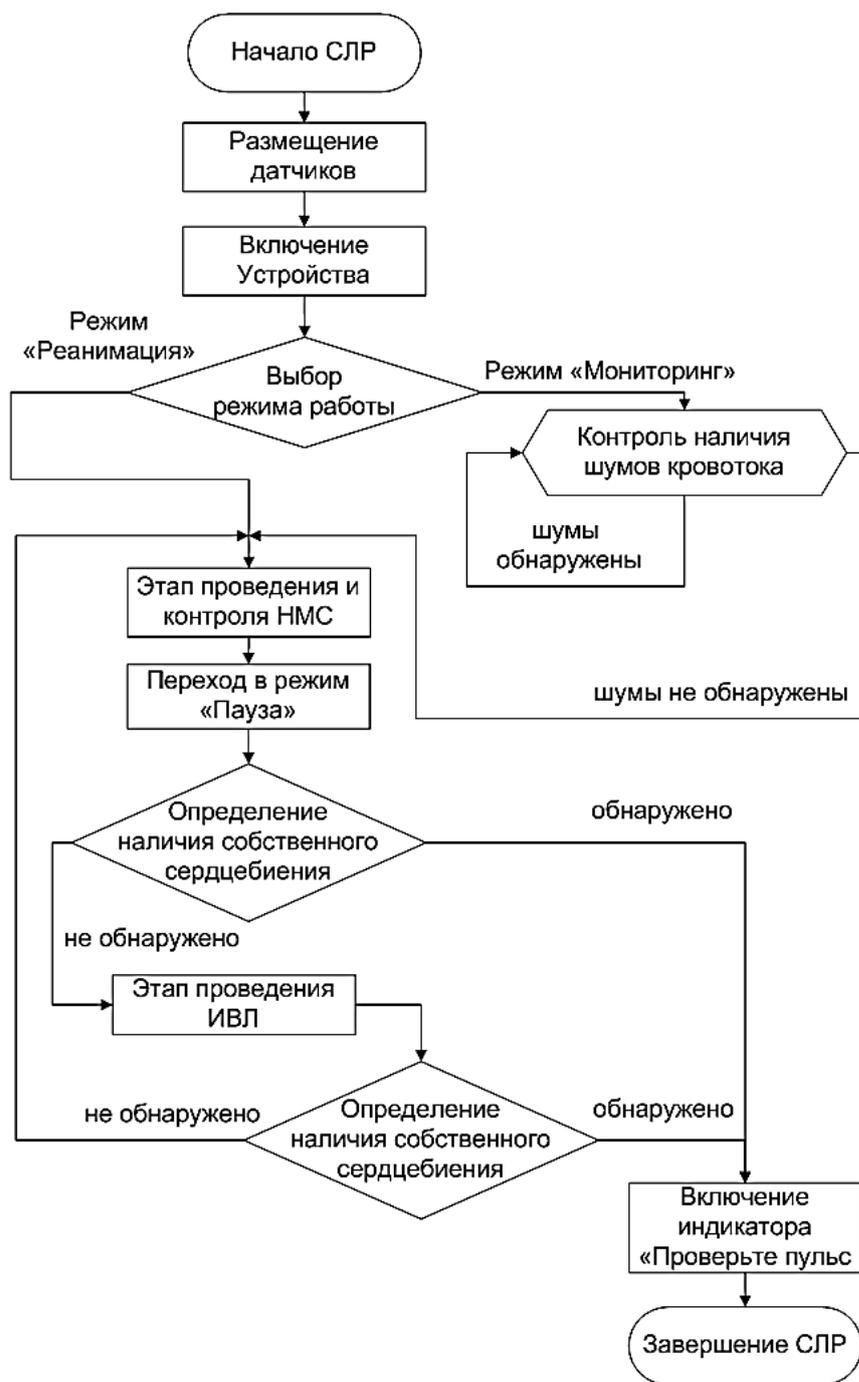


Рисунок 1 – Блок-схема алгоритма работы ПАК для контроля сердечно-легочной реанимации

Общая функциональная схема устройства для контроля процедуры сердечно-легочной реанимации представлена на рисунке 2.

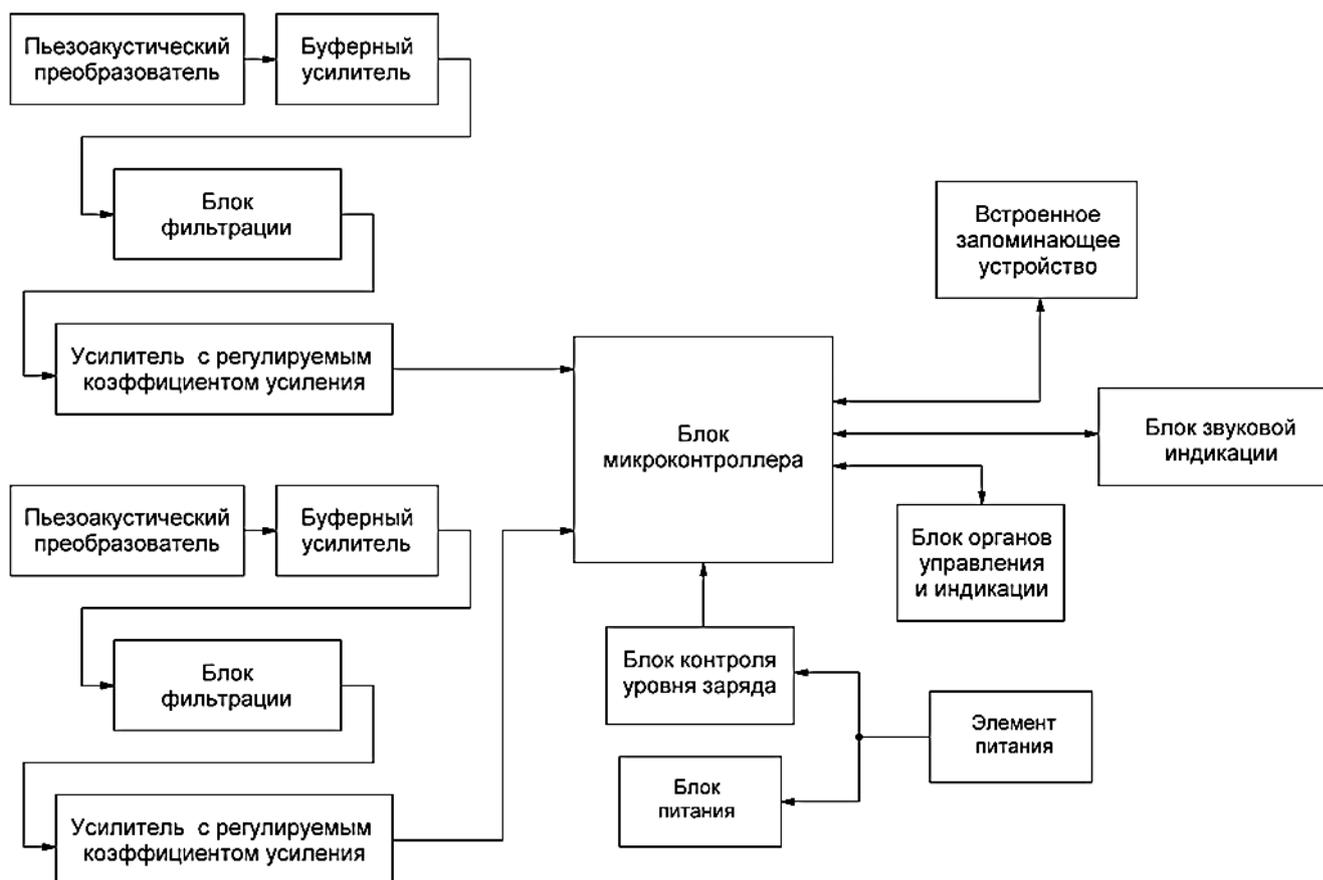


Рисунок 2 – Структурная схема экспериментального образца Устройства.

Пьезоакустические преобразователи, расположенные на сонных артериях реанимируемого, улавливают слабые звуковые сигналы и преобразуют их в электрические сигналы. Пройдя через блок буферного усилителя и блок фильтрации, сигналы усиливаются и фильтруются с целью уменьшения влияния помех и посторонних шумов. Пройдя через блок усилителя с регулируемым коэффициентом усиления, сигналы нормируются и попадают на вход аналого-цифрового преобразователя, интегрированного в микроконтроллер. Далее блок микроконтроллера производит преобразование аналогового сигнала в цифровой код, его обработку и анализ при помощи программно-алгоритмического комплекса, в соответствии с результатами работы которого воспроизводится визуальная и звуковая сигнализация о ходе проведения процедуры СЛР. Отображение состояния пациента и режима работы Устройства, а также его управление производится с помощью блока органов управления и индикации. Устройство работает от автономного блока питания, необходимого для формирования и поддержания в нужном диапазоне напряжений питания составных блоков устройства при изменяющемся из-за разряда питающих элементов входном напряжении.

Внешний вид Устройства представлен на рисунке 3.



Рисунок 3 – – Внешний вид Устройства

Алгоритмы, входящие в состав разработанного программно-алгоритмического комплекса предназначены для работы в блоке микроконтроллера устройства. Алгоритмы можно разделить на несколько групп:

1) алгоритмы предварительной обработки акустического сигнала сердечно-сосудистой системы человека, обеспечивающие удаление шумовой составляющей сигнала, препятствующей работе алгоритмов определения наличия динамики шумов кровотока и подсчета компрессий при проведении НМС;

2) алгоритмы определения наличия шумов кровотока в местах бифуркаций сонных артерий, с целью контроля проведения НМС и контроля наличия самостоятельной сердечной деятельности пациента;

3) алгоритмы подсчета количества компрессий при проведении НМС.

Последовательность выполнения алгоритмов представлена на рисунке 4.

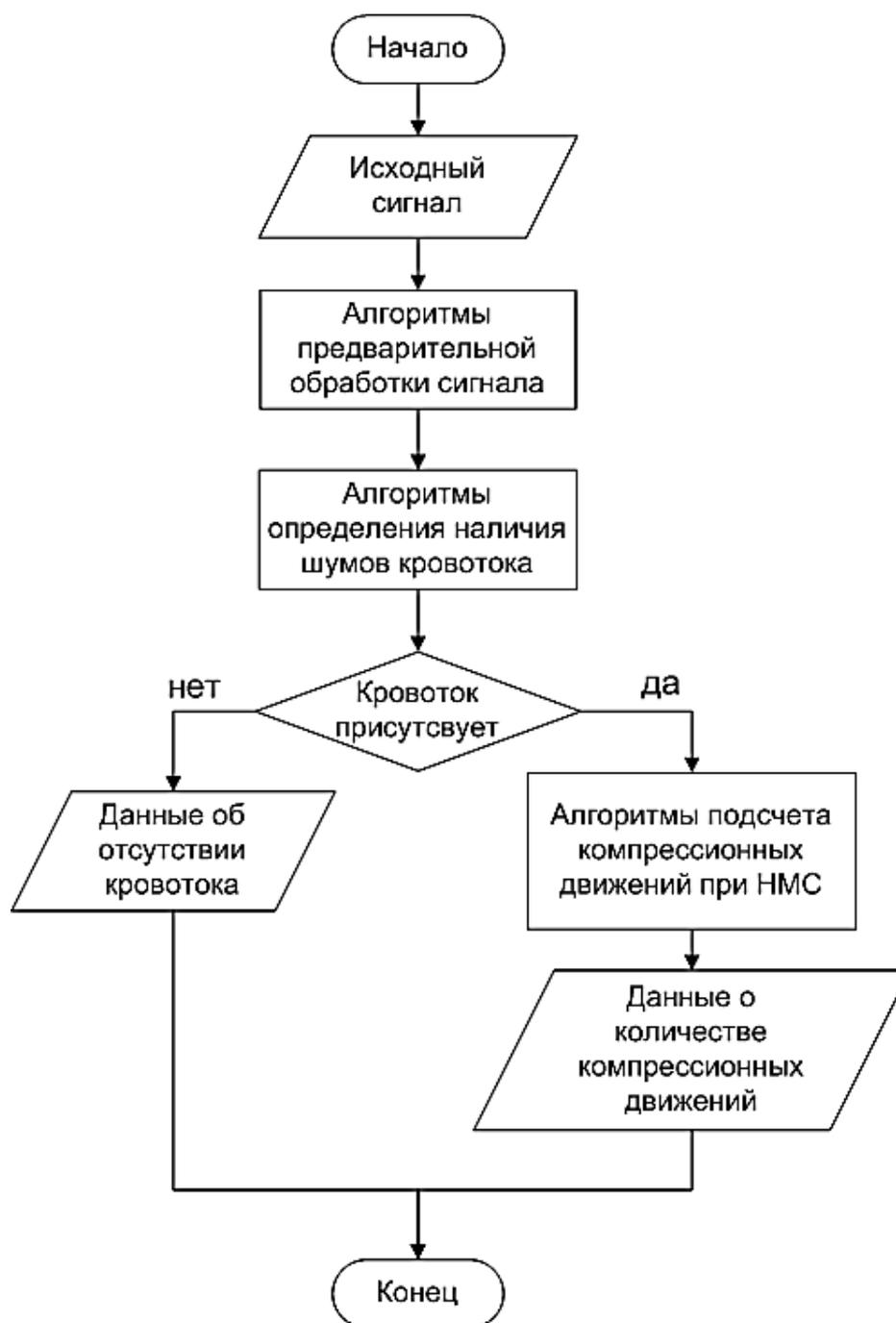


Рисунок 4 – Принципиальная схема работы алгоритмов

Для решения задач предварительной обработки акустического сигнала был выбран полиномиальный фильтр Баттерворта. Основным его преимуществом является минимальное искажение сигнала в полосе пропускания.

В ходе экспериментальных исследований было выявлено, что частотный диапазон шумов кровотока в местах бифуркаций сонных артерий лежит в пределах от 20 до 60 Гц. Выделение из акустического сигнала полезного диапазона частот возможно в результате использования последовательного включения каскадов высоко- и низкочастотного фильтров Баттерворта. Для выделения полезной составляющей акустических сигналов были использованы следующие каскады фильтров Баттерворта, АЧХ которых представлены на рисунке 4:

1. фильтр высоких частот. Частота пропускания – 20 Гц, Частота заграждения – 1 Гц, шумоподавление в полосе пропускания – 1 дБ, шумоподавление в полосе заграждения – 36 дБ (рисунок 5 а);

2. фильтр низких частот. Частота пропускания – 40 Гц, Частота заграждения – 110 Гц, шумоподавление в полосе пропускания – 1 дБ, шумоподавление в полосе заграждения – 36 дБ (рисунок 5 б);

3. фильтр высоких частот. Частота пропускания – 45 Гц, Частота заграждения – 20 Гц, шумоподавление в полосе пропускания – 1 дБ, шумоподавление в полосе заграждения – 30 дБ (рисунок 5 в).

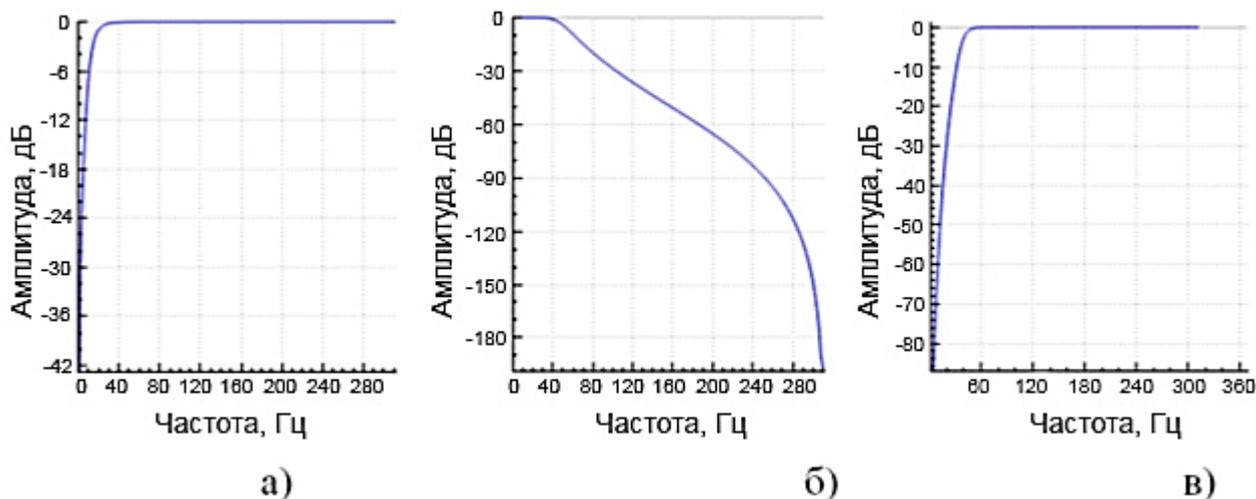


Рисунок 5 – Импульсные характеристики каскадов фильтра Баттерворта

После предварительной обработки сигнал передается на вход алгоритмов определения наличия шумов кровотока, обеспечивающих поиск участков сигнала, соответствующих искомым состояниям кровотока в местах бифуркаций сонных артерий человека, возникающих на различных стадиях проведения СЛР. Примерами искомых состояний является:

- наличие шумов кровотока, соответствующих собственному сердцебиению;
- наличие шумов кровотока, соответствующих НМС;
- отсутствие шумов кровотока.

Каждому состоянию соответствует информационное представление, то есть набор характеристических фрагментов сигнала, обладающих определенными параметрами, такими как:

- степень вклада некоторой полосы частот в спектр участка сигнала;
- скорость изменения амплитуды сигнала на участке.

Параметры характеристических фрагментов сигналов для проведения экспериментальных исследований были определены опытным путем на этапе экспериментальных исследований. Для сигналов, полученных с манекена-тренажера для отработки навыков СЛР Resusci Anne (Laerdal Medical, Норвегия), шумам кровотока соответствовали участки, на которых полоса частот от 0 Гц до 2000 Гц составляла более 70% спектра мощности сигнала, а скорость возрастания амплитуды составляла 10 дБ в секунду.

Первым этапом работы алгоритма, является поиск характеристических фрагментов сигнала. Далее происходит определение состояния кровотока. Для этого рассматривается расположение обнаруженных характеристических фрагментов на сигнале – последовательность, длительность фрагментов, а также длительность интервалов между ними.

После определения наличия сердечных сокращений, запускаются алгоритмы подсчета количества компрессий при проведении НМС. Алгоритм основан на вычислении энергии Шеннона акустического сигнала сердечно-сосудистой системы человека.

В ходе работы алгоритмов происходит создание массива значений энергии Шеннона анализируемого сигнала, а также нормализация, обработка сигнала медианным и пороговым фильтром (Рисунок 6).



Рисунок 6 – Принципиальная схема алгоритма определения частоты сердцебиения.

Вычисление значений энергии Шеннона проводится в окне с фиксированным размером. Расчет происходит итеративно по всем временным отсчетам исследуемого сигнала в рассматриваемом окне:

$$E(t) = S^2(t) \log S^2(t),$$

где  $S(t)$  – амплитуда сигнала,  $E(t)$  – энергия Шеннона.

Нормализация и медианная фильтрация массива, содержащего значения энергии Шеннона акустического сигнала, позволяет дополнительно обработать результаты вычисления энергии Шеннона с целью устранения «мусорных» ее значений, анализ которых может привести к возрастанию погрешности. Нормализация входного вектора, в качестве которого выступает вектор значений энергии Шеннона, можно проводить путем деления значения каждого элемента этого вектора на рассчитанное значение квадрата дисперсии анализируемых данных.

Далее проводится пороговая фильтрация массива значений энергии Шеннона, которая позволяет осуществить первоначальное выделение пиков энергетических выбросов, соответствующих сердечным сокращениям. Опытным путем была определена величина порогового значения, равная 40% от максимального значения анализируемого массива данных. В результате работы данной функции формируется массив данных, содержащий единичные пики, соответствующие энергетическим выбросам акустического сигнала. В некоторых случаях, одному сердечному сокращению может соответствовать группа близкорасположенных пиков, для объединения которых, используется параметр, характеризующий минимальный временной интервал между пиками, соответствующими разным сердечным сокращениям. Значение этого параметра установлено в ходе литературного обзора и составляет 250-300 мс.

**В третьей главе** настоящей диссертационной работы описано проведение экспериментальных исследований, целью которых была проверка работоспособности разработанных алгоритмов.

Первым этапом экспериментальных исследований являлась проверка работоспособности алгоритмов предварительной обработки акустического сигнала сердечно-сосудистой системы человека. Для проведения экспериментальных исследований алгоритмов предварительной обработки акустического сигнала сердечно-сосудистой системы человека, при помощи 10 добровольцев был создан набор экспериментальных акустических сигналов кровотока, зарегистрированных с области бифуркации сонных артерий. Эти сигналы были использованы в качестве экспериментальных данных.

В результате проведения экспериментальных исследований, было выявлено, что полиномиальный фильтр Баттерворта может быть использован с целью выделения его полезных составляющих в составе ПАК. Результаты работы алгоритма представлены на рисунке 7. Для проведения дальнейших экспериментальных исследований и для использования в составе программного обеспечения экспериментального образца Устройства было принято решение об использовании статически заданных коэффициентов полиномиальных фильтров,

что позволит значительно повысить быстродействие программного обеспечения за счет исключения операции их динамического расчета.

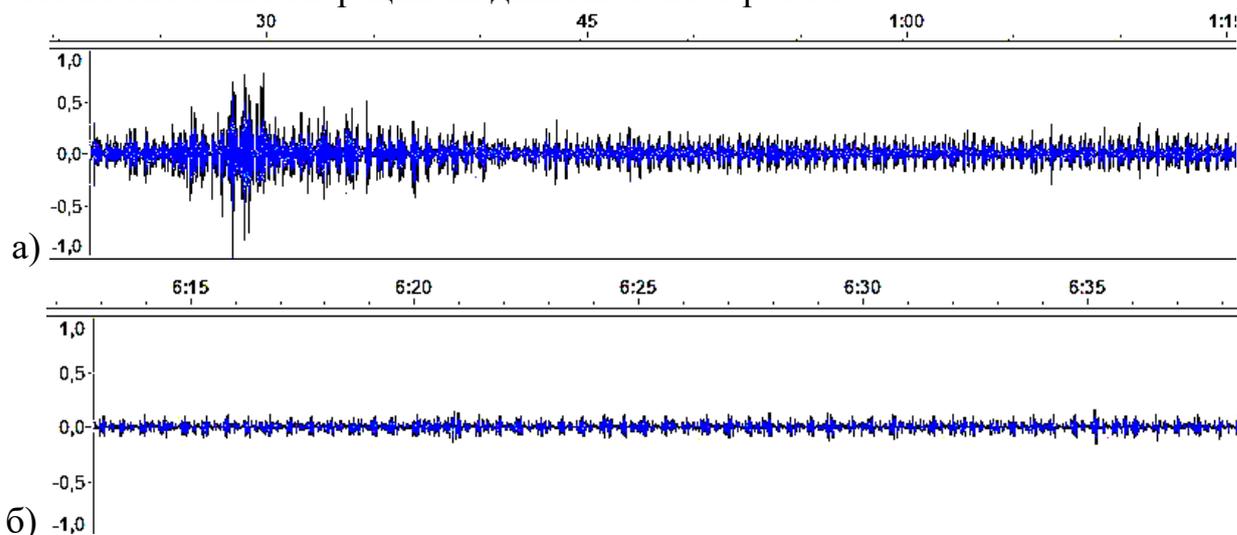


Рисунок 7 – Результаты применения каскадов фильтра Баттерворта к акустическим сигналам: а) сигнал до обработки, б) сигнал после обработки

Вторым этапом экспериментальных исследований является проверка работоспособности алгоритмов определения наличия шумов кровотока в местах бифуркаций сонных артерий. Для этих целей было создано тестовое приложение, имитирующее работу устройства контроля процедуры сердечно-легочной реанимации в режиме мониторинга состояния пациента и в режиме проведения сердечно-легочной реанимации. В качестве экспериментальных данных использовались сигналы с манекена-тренажера для отработки навыков СЛР Resusc Anne (далее – манекен), предоставляющего возможность воспроизведения процедуры СЛР, включая симуляцию шумов кровотока в местах бифуркаций сонных артерий.

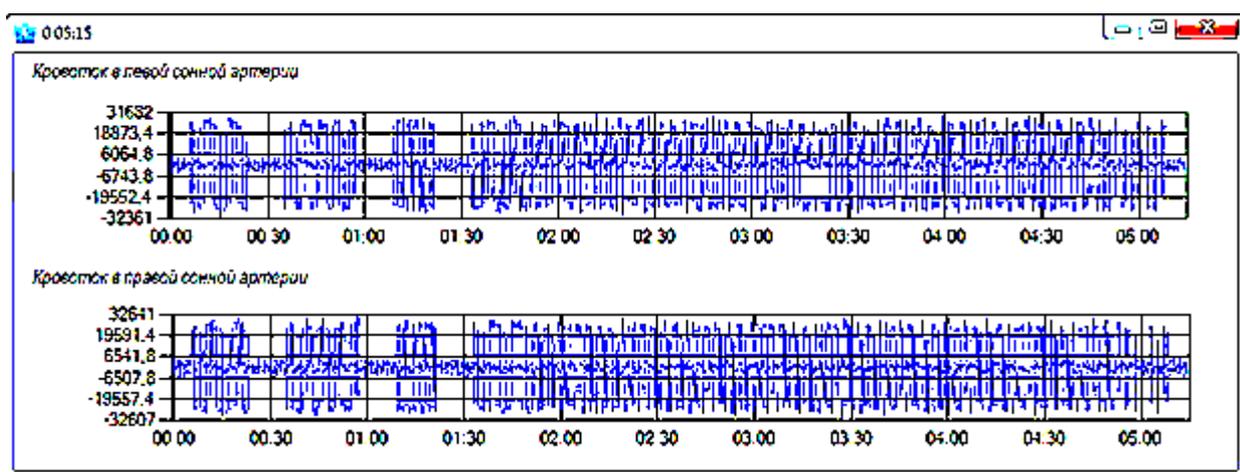


Рисунок 8 – Пример экспериментального сигнала

Рассмотрим результаты работы алгоритмов с сигналом, на котором присутствуют шумы кровотока, возникающие при проведении непрямого массажа

сердца (Рисунок 8). Сигнал представлял собой запись симуляции проведения реанимационных мероприятий. Описание участков сигнала и результаты работы алгоритмов представлены в Таблице 1.

Таблица 1 - результаты работы алгоритмов определения наличия шумов кровотока

Этап СЛР	Начало интервала, с.	Конец интервала, с.	Длительность Интервала, с	Частота НМС на интервале, ударов в мин.	Количество индикаторов наличия кровотока на интервале	Результат работы алгоритмов (наличие кровотока)
Подготовка	0	6	6	-		
НМС	6	23,5	17,5	100	30	обнаружен
ИВЛ	23,5	35,5	12	-	0	
НМС	35,5	58,0	22,5	80	30	обнаружен
ИВЛ	58,0	70,0	12	-	0	
НМС	70,0	82,5	13	140	30	обнаружен
ИВЛ	82,5	94,5	12	-	0	
НМС	94,5	112,5	18	100	30	обнаружен
ИВЛ	112,5	117,5	5	-	0	
Собственное сердцебиение	117,5	300	182,5	45	135	обнаружен

Третьим этапом экспериментальных исследований являлась проверка работоспособности алгоритмов подсчета количества компрессий при проведении НМС. Для проведения экспериментальных исследований использовались сигналы, на которых присутствуют шумы кровотока, возникающие при проведении непрямого массажа сердца.

Таблица 2 - результаты работы алгоритмов подсчета количества компрессий при проведении НМС

Начало интервала, с	Конец интервала, с	Длительность интервала, с	Частота НМС на интервале, ударов в мин.	Количество индикаторов наличия кровотока на интервале	Результат работы алгоритмов – ЧСС или частота НМС
0	6	6	-		
6	23,5	17,5	100	30	100
23,5	35,5	12	-	0	
35,5	58,0	22,5	80	30	80
58,0	70,0	12	-	0	
70,0	82,5	13	140	30	140
82,5	94,5	12	-	0	
94,5	112,5	18	100	30	100
112,5	117,5	5	-	0	
117,5	300	182,5	45	135	45

Заключительным этапом экспериментальных исследований являлась проверка совместной работоспособности алгоритмов в составе экспериментального образца Устройства. Для этого на манекене проводилась симуляция собственного сердцебиения и симуляция проведения СЛР. В ходе симуляции контролировались показания лицевой панели Устройства, и оценивалось их соответствие проводимым симуляциям.

Результаты экспериментальных исследований показали, что разработанные алгоритмы выполняют свои функции в полном объеме.

## **ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ**

1. Разработан общий алгоритм работы и структурная схема программно-аппаратного комплекса для контроля сердечно-легочной реанимации человека, позволяющего осуществлять контроль и корректировку проведения реанимационных мероприятий, а также оценку состояния пациента.

2. Разработаны алгоритмы анализа акустических данных, позволяющие определять факт наличия шумов кровотока в местах бифуркаций сонных артерий, возникающих при наличии собственного сердцебиения пациента, а также в ходе проведения НМС.

3. Разработаны алгоритмы подсчета количества компрессий при проведении сердечно-легочной реанимации пациента, позволяющие осуществлять поиск и подсчет моментов, соответствующих прохождению крови по сонным артериям при проведении НМС и собственной сердечной деятельности пациента.

4. Разработанные алгоритмы реализованы в виде программно-алгоритмического комплекса и проведены экспериментальные исследования для оценки их работоспособности.

5. Разработанный программно-аппаратный комплекс предназначен для создания Устройства для контроля процедуры сердечно-легочной реанимации человека, разрабатываемого в рамках Соглашения о предоставлении субсидии от «28» ноября 2014 г. № 14.578.21.0078 (уникальный идентификатор RFMEFI57814X0078) ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технического комплекса России на 2014-2020 годы».

## **ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

*Статьи в изданиях, рекомендованных ВАК*

1. Куцов М.С. Место систем поддержки принятия решения при проведении СЛР с учетом существующих стандартов оказания скорой помощи / Куцов М.С. // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики, № 12, 2016. – С. 125-132.

2. Куцов М.С. Программно-аппаратный комплекс для контроля проведения сердечно-легочной реанимации человека / Куцов М. С., Костелей Я.В. // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики, № 12, 2016. - С. 132-140.

3. Kutsov M.S. Technique of Automated Control Over Cardiopulmonary Resuscitation Procedure / A.Sh. Bureev, E.Yu. Kiselyova, M. S. Kutsov, D.S. Zhdanov // Journal of Physics: conference series – 2016. – V.671. – P. 012026 (WoS, Scopus).

4. Kutsov M. S. Algorithm for Extraction of Fetal Heart Tones during Fetal Phonocardiography / D.S. Zhdanov, A.Sh. Bureev, M.S. Kutsov, E.Yu. Kiseleva, Yu.V. Kistenev // Biology and Medicine – 2016. – V.7:3. – BM-117-15 (Scopus).

5. Kutsov M. S. Mathematic Model for Spectral Characteristics of Respiratory Sounds Registered in Trachea Region / A.Sh. Bureev, E.Yu. Dikman, D.S. Zhdanov, I.Yu. Zemlyakov, M.S. Kutsov // Global Journal of Pure and Applied Mathematics – 2016. – Volume 12, Number 5. – P. 4569-4578.

*Монографии:*

6. M.S. Kutsov adaptive medical diagnostic systems / A.Sh. Bureev, D.S. Zhdanov, I.Yu. Zemlyakov, M.S. Kutsov, V.I. Syryamkin.// Prof. Marin Drinov Publishing House of Bulgarian Academy of Sciences. Sofia, 2016. – 260 p.

*Свидетельства о государственной регистрации*

7. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015661062 (RU); заявка № 2015617514 от 11.08.2015, дата рег. 15.10.2015; Бюл. № 11 от 20.11.2015 // А.Ш. Буреев, Д.С. Жданов, Д.А. Вражнов, М.С. Куцов, В.В. Николаев, А.В. Шаповалов. Программное обеспечение для автоматического подсчета частоты сердечных сокращений матери и плода на основе результатов анализа акустических данных.

8. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015661063 (RU); заявка № 2015617512 от 11.08.2015, дата рег. 15.10.2015; Бюл. № 11 от 20.11.2015 // А.Ш. Буреев, Д.С. Жданов, Д.А. Вражнов, М.С. Куцов, В.В. Николаев, А.В. Шаповалов. Программное обеспечение для выделения тонов сердца плода и матери на основе акустических данных.

9. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015660318 (RU); заявка № 2015617142 от 03.08.2015, дата рег. 29.09.2015; Бюл. № 9 от 20.10.2015 // А.Ш. Буреев, Д.С. Жданов, Е.Ю. Киселева, А. В. Осипов, И.Ю. Земляков, М.С. Куцов. Программное обеспечение для оценки корректности действий реаниматора на основе анализа шумов кровотока в местах бифуркаций сонных артерий.

10. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015660422 (RU); заявка № 201561711 от 03.08.2015, дата рег. 30.09.2015; Бюл. № 9 от 20.10.2015 // А.Ш. Буреев, Д.С. Жданов, Е.Ю. Киселева, А. В. Осипов, И.Ю. Земляков, М.С. Куцов. Программное обеспечение для оценки состояния реанимируемого посредством анализа шумов кровотока в местах бифуркаций сонных артерий.

11. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2012619585 (RU); заявка № 2012617588 от 11.09.2012, дата рег. 24.10.2012; Бюл. № 11 от 20.11.2012 // А.Ш. Буреев, А. В. Осипов, М.С. Куцов, В.И. Сырямкин. Программное обеспечение для определения динамики изменения диаметра зрачка

глаза реанимируемого пациента

12. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2013611545 (RU); заявка № 2012617589 от 11.09.2012, дата рег. 24.01.2013; Бюл. № 1 от 20.02.2012 // А.Ш. Буреев, А. В. Осипов, М.С. Куцов, В.И. Сырямкин. Программное обеспечение для определения динамики изменения диаметра зрачка глаза реанимируемого пациента

*Статьи в других изданиях*

13. Kutsov M. S. A method of automatic control procedures cardiopulmonary resuscitation/ Bureev A. Sh., Zhdanov D. S., Kiseleva E. Yu., Kutsov M. S., Trifonov A. Yu. // New Operational Technologies (NewOT'2015) AIP Conf. Proc. 1688, 040005-1–040005-5.

14. Kutsov M. S. An Algorithm for the Evaluation of the Dynamics of Blood Flow in the Carotid Arteries and the Air Flow in the Trachea of the Resuscitated Patient / Bureev A. Sh., Zhdanov D. S., Kiseleva E. Yu., Kutsov M. S. // Information Technologies in Science, Management, Social Sphere and Medicine (ITSMSSM 2016).

15. Куцов М. С. Система контроля проведения процедуры сердечно-легочной реанимации / Буреев А. Ш., Жданов Д. С., Куцов М. С., Клестов С. А. // Материалы научной конференции «Медицинская кибернетика и междисциплинарная подготовка специалистов для медицины» - Томск, 2014, - С.17-20.

16. Куцов М. С. Алгоритм распознавания тонов сердца при проведении кардиофонографии/ Буреев А.Ш., Жданов Д. С., Земляков И. Ю., Киселева Е. Ю., Осипов А. В., Селезнев А. И., Хохлова Л. А. // Сборник материалов XII международной научно-технической конференции «Опτικο-электронные приборы и устройства в системах распознавания образов, обработки изображений и символьной информации» (Распознавание 2015) - г. Курск, 2015, - С.19-22.

17. Куцов М.С.. Устройство для контроля процедуры сердечно-легочной реанимации/ А.С. Комюстюрова, Е.Ю. Киселева, М.С. Куцов // Сборник материалов Всероссийской научно-технической конференции с международным участием «Научная сессия ТУСУР 2015» - г. Томск, 2016.

18. Куцов М. С. Разработка шины-воротника устройства для контроля процедуры сердечно-легочной реанимации / Комюстюрова А. С., Киселева Е. Ю., Куцов М. С. // Сборник материалов VI Всероссийской научно-практической конференции студентов и молодых ученых «Неразрушающий контроль: электронное приборостроение, технологии, безопасность» - г. Томск, 2016.

19. Куцов М. С. Методика автоматизированного контроля проведения сердечно-легочной реанимации пациента/ Буреев А. Ш., Земляков И. Ю., Киселева Е. Ю., Куцов М. С., Жданов Д. С. // - Сборник трудов Российской школы конференции «Информационные технологии неразрушающего контроля» с международным участием – г. Томск, 2015.