

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования  
Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники

УДК 616.12:681.3.062

Гордиевич  
Алина Викторовна

Фильтрация электрокардиосигналов методом комбинации фильтров  
Чебышева и Савицкого-Голея

**АВТОРЕФЕРАТ**

на соискание степени магистра

по специальности 1-39 80 03 Электронные системы и технологии

Научный руководитель

Камлач Павел Викторович  
кандидат технических наук, доцент

Минск 2023

## ВВЕДЕНИЕ

Сердечно-сосудистые заболевания в настоящее время являются основной причиной смерти населения во всем мире. Одним из важных моментов этапа сбора данных о состоянии здоровья пациента является снятие и анализ электрокардиографии (ЭКГ). Существует большая гамма приборов для снятия, а в ряде приборов и анализа, ЭКГ.

Электрокардиография – электрофизиологическая методика регистрации и исследования электрических полей, образующихся при работе сердца. ЭКГ представляет собой относительно недорогой, но ценный метод электрофизиологической инструментальной диагностики в кардиологии. Сегодня ЭКГ является одним из самых популярных методов исследования в медицине.

Современные кардиографы в конце записи предоставляют предварительный результат исследования с указанием размеров интервалов и зубцов, частоты сердечных сокращений (ЧСС), положения электрической оси сердца (ЭОС) и признаками таких патологий, как миокарды, аритмии, гипертрофии стенок миокарда. Это облегчает работу доктора в подсчете и измерении сигналов, но при этом бывает, что программа неверно интерпретирует результаты.

На данном этапе развития технологий возможно ускорить и повысить точность процесса диагностики сердечно-сосудистых заболеваний с использованием компьютерной базы данных и, следовательно, ускорить начало процесса лечения пациента. Разработка алгоритма и программы фильтрации позволит оптимизировать и автоматизировать медицинский процесс, более точно получить диагноз.

Выделение сигнала из зашумленной кардиограммы и повышение точности и достоверности регистрации параметров электрокардиографического сигнала приобретают все большее значение в сфере дистанционного консультирования пациента и постановки диагноза в режиме on-line. Распознавание информативных участков, конфигурации и временное положение ЭКС несет диагностическую информацию и может быть выполнено с использованием современных методов цифровой обработки сигналов.

Экспертиза диссертации на корректность использования заимствованных материалов с применением сетевого ресурса «Антиплагиат» (адрес доступа: <https://antiplagiat.ru>) в on-line режиме 14.04.2023 г. показала корректность использования заимствованных материалов, оригинальность составляет 93,2 % (приложение А).

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

### **Связь работы с приоритетными направлениями научных исследований и запросами реального сектора экономики**

Тема диссертационной работы соответствует пункту 2 «Биологические, медицинские, фармацевтические и химические технологии и производства» приоритетных направлений научной, научно-технической и инновационной деятельности Республики Беларусь на 2021–2025 годы, утвержденных Указом Президента Республики Беларусь № 156 от 7 мая 2020 г. Работа выполнялась в учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

Практическая ценность работы состоит в разработке фильтра электрокардиограмм и создании программы фильтрации электрокардиограмм.

### **Цель и задачи исследования**

Целью диссертационной работы является разработка фильтра электрокардиосигнала методом комбинации фильтров Чебышева и Савицкого-Голея.

В соответствии с поставленной целью, в работе сформированы и решены следующие задачи:

- разработать алгоритм фильтрации электрокардиограмм;
- разработать программу фильтрации электрокардиограмм;
- разработать методику исследования фильтров электрокардиограмм;
- произвести исследования фильтров электрокардиограмм.

### **Научная новизна и значимость полученных результатов**

Предложены состав и структура фильтров электрокардиограмм, включающие последовательно соединенные фильтры Савицкого-Голея, линейного и нелинейного фильтров Чебышева. Определены последовательность и алгоритм их использования для выполнения обработки электрокардиосигнала.

### **Положения, выносимые на защиту**

Методика фильтрации электрокардиосигнала, основанная на комбинации фильтров Савицкого-Голея и Чебышева, позволяющая устранить влияние мышечного тремора, помехи электрической сети переменного тока.

Расчет критериев качества комбинации фильтров Савицкого-Голея и Чебышева, показавший снижение доли высокочастотных составляющих ЭКС, подавление шумов на 90,93% и при этом максимальное значение СКО отклонения сигнала наблюдалось на интервале ST – 16,76% и минимальное значение в зубце R – 7,27%.

### **Личный вклад соискателя**

Содержание диссертации отражает личный вклад автора. Он заключается в изучении существующих фильтров электрокардиограмм и программ контурного анализа, разработке алгоритма фильтрации электрокардиограмм, создании программного обеспечения для обработки электрокардиосигналов, исследовании разработанного фильтра.

Определение цели и задач исследований, интерпретация и обобщение полученных результатов проводились с научным руководителем, кандидатом технических наук, доцентом П.В. Камлачом.

### **Апробация результатов диссертации**

– XII Международная научно-техническая конференция «Средства медицинской электроники и новые медицинские технологии», Минск, 10 декабря 2020 года.

– 57-я научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов «Электронные системы и технологии», Минск, 19-23 апреля 2021 года.

– 58-я научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов «Электронные системы и технологии», Минск, 18-22 апреля 2022 года.

– 59-я научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов «Электронные системы и технологии», Минск, 17-21 апреля 2023 года.

– 38-я научно-техническая конференция открытого акционерного общества «АГАТ – системы управления» – управляющая компания холдинга «Геоинформационные системы управления», 7 июня 2022 года.

– II Международная научно-практическая конференция «Актуальные проблемы физики, электроники и энергетики», Новополоцк, 27-28 октября 2022 года.

– IX Международная научно-практическая конференция «BIG DATA and Advanced Analytics Conference», Минск, 17-18 мая 2023 года.

## **Опубликованность результатов диссертации**

Изложенные в диссертации основные положения и выводы опубликованы в 15 печатных работах. В их числе 3 статьи в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК Республики Беларусь для опубликования результатов исследования, 2 статьи в сборниках материалов научных конференций и 10 тезисов докладов на научных конференциях.

## **Структура и объем работы**

Структура диссертационной работы обусловлена целью, задачами и логикой исследования. Работа состоит из введения, четырех глав и заключения, библиографического списка и приложений. Общий объем диссертаций – 67 страниц. Работа содержит 6 таблиц, 20 рисунков, 3 приложения. Библиографический список включает 55 наименований.

## КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе приведены результаты обзора научно-технической литературы по теме диссертационной работы. В ней рассмотрены существующие фильтры ЭКГ и программы контурного анализа. В первом разделе главы рассмотрены цифровые и аналоговые фильтры ЭКГ, их преимущества и недостатки. Во втором разделе главы рассмотрены функционал и возможности автоматизированного контурного анализа на примере программ «ECG Control» и «Кардиолаб». По итогам главы был сделан вывод, что разработка универсального фильтра ЭКГ позволит усовершенствовать программы контурного анализа, повысит точность и эффективность обработки ЭКГ.

Во второй главе рассмотрены методы предварительной фильтрации ЭКГ (устранение дрейфа базовой линии) и описан разработанный фильтр ЭКГ методом комбинации фильтров Савицкого-Голея и Чебышева. В этой главе представлено подробное описание этого метода, включая его принципы работы, математические выкладки и описана программная реализация в системе MatLab. По итогу главы были определены этапы фильтрации ЭКГ, которые реализованы в четвертой главе.

В третьей главе описаны методика исследования фильтров предварительной фильтрации с алгоритмом и методика последующей фильтрации ЭКГ с алгоритмом. В третьем разделе описана структура, характеристика и параметры ЭКГ, на которые следует обратить внимание при применении и оценке фильтров. В четвертом разделе описаны выбранные критерии качества, для оценки отфильтрованного сигнала. По итогу главы были разработаны алгоритмы и выбраны критерии оценки фильтров.

В четвертой главе проводится моделирование ЭКС и экспериментальное исследование. В третьем разделе проводится сначала тестирование фильтров устранения дрейфа базовой линии, а затем фильтров ЭКГ, и результаты моделирования оцениваются по критериям качества фильтров, описанным в третьей главе. В итоге предложен наилучший вариант устранения дрейфа базовой линии, и сделан вывод, что разработанный фильтр обеспечивает оптимальный баланс между подавлением шума и сохранением важных компонентов сигнала, и является эффективным в удалении различных типов помех, что улучшает качество диагностики сердечных заболеваний.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данная диссертация посвящена разработке эффективного метода фильтрации ЭКГ путем комбинации фильтров Савицкого-Голея и Чебышева. Этот метод был разработан для устранения шумов, артефактов и других помех в ЭКС, что позволяет улучшить качество диагностики сердечных заболеваний.

Существующие фильтры ЭКГ и программы контурного анализа имеют свои особенности и преимущества, однако не существует универсального фильтра, который бы мог успешно решать все задачи обработки ЭКС. Поэтому работы по созданию новых методов фильтрации ЭКГ и совершенствование существующих программ контурного анализа позволят повысить эффективность и точность обработки ЭКГ.

Дрейф базовой линии может исказить или скрывать некоторые важные сигналы на ЭКГ (например, изменения ST-сегмента). Поэтому необходима предварительная фильтрация ЭКГ, которая позволит снизить или полностью убрать дрейф базовой линии, не исказив исходный сигнал. Затем можно проводить фильтрацию ЭКГ для удаления других шумов и артефактов, которые могут появиться в процессе записи.

Перед применением фильтра на реальных ЭКГ необходимо оценить его эффективность. При этом важно не допустить потерь полезного сигнала на особо значимых участках (зубцах, интервалах, сегментах), важных для диагностики и лечения сердечных заболеваний. Поэтому для исследования разработанного фильтра были выбраны критерии качества фильтров, оценивающие как степень подавления помех, так и искажения ЭКГ в результате фильтрации.

Сравнение фильтров устранения дрейфа базовой линии при обработке ЭКГ показало, что предложенный медианный фильтр является наиболее эффективным, лучше остальных устраняет дрейф базовой линии, при этом сохраняя форму сигнала. Разработанный фильтр, основанный на методе комбинации фильтров Савицкого-Голея и Чебышева, позволяет совместить преимущества обоих фильтров и минимизировать их недостатки. По результатам моделирования и расчетным значениям критериев качества можно сделать вывод, что разработанный фильтр устраняет шумы и помехи, не искажая исходный ЭКС как на всем участке, так и на критичных для диагностики участках. Разработанный фильтр обеспечивает оптимальный баланс между подавлением шума и сохранением важных компонентов сигнала, что позволяет получать более точные результаты при анализе ЭКГ.

Таким образом, данная работа представляет новый метод фильтрации ЭКГ, который является эффективным в удалении различных типов помех, что улучшает качество диагностики сердечных заболеваний. Предложенный метод может быть использован в клинической практике для улучшения точности диагностики и лечения пациентов с сердечными заболеваниями.

Предложенные для обработки ЭКГ методы обработки и фильтрации с успехом могут применяться и при лечении больных с заболеваниями легких, почек, печени, эндокринных желез, системы крови, а также в педиатрии, онкологии, спортивной медицине. Разработанный фильтр можно применять не только в медицине, но и в других прикладных задачах сбора и обработки данных в условиях наличия различного рода турбулентностей, целенаправленных и случайных помеховых и шумовых воздействий в разных средах [8–А, 9–А, 10–А, 11–А].

Исследование ЭКГ может быть составной частью комплекса исследований, необходимых для определения состояния здоровья пациентов, постановки диагноза и назначения лечения. Проведение ЭКГ может быть вспомогательным оперативным инструментом для нахождения других заболеваний и определения причин их возникновения. Поэтому результаты выполненной работы целесообразно применять в составе комбинированных систем медицинского назначения, в которых одновременно может выполняться мониторинг многих параметров разных систем жизнедеятельности организма человека [12–А, 13–А, 14–А, 15–А].

Результаты, полученные в данной работе, использованы для проведения практических занятий по дисциплине «Цифровая обработка биомедицинских сигналов и изображений», и внедрены в автоматизированную систему управления «Риф-В», предназначенную для сбора и обобщения информации, получаемой от совокупности сенсоров с различными вероятностно-точностными характеристиками, о чем свидетельствуют соответствующие Акты внедрения (приложение Б, приложение В).

Это подтверждает актуальность темы магистерской диссертации для решения широкого круга проблем как в медицине, так и в других прикладных задачах науки и техники.



## СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

1–А. Гордиевич, А.В. Шестиканальный электрокардиограф / А.В. Гордиевич, П.В. Камлач // Медэлектроника – 2020. Средства медицинской электроники и новые медицинские технологии: сборник научных статей XII Международной научно-технической конференции, Минск, 10 декабря 2020 г. / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники; редкол.: В. А. Богуш [и др.]. – Минск, 2020. – С.220–222.

2–А. Васковская, Л.Ф. Шестиканальный электрокардиограф с фильтрацией электрокардиограмм / Л.Ф. Васковская, А.В. Гордиевич, П.В. Камлач, И.И. Ревинская, // ИЗОБРЕТАТЕЛЬ Международный научно-практический журнал. – 2021. – № 3. – С.8–14.

3–А. Куприянов, Н.И. Классификация современных аппаратов искусственной вентиляции легких / Н.И. Куприянов, А.В. Гордиевич, И.И. Ревинская // Электронные системы и технологии: 58-я научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов, Минск, 18-22 апреля 2022 г.: сборник тезисов докладов / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники. – Минск: БГУИР, 2022. – С.438–441.

4–А. Гордиевич, А.В. Электрокардиограф с фильтрацией электрокардиограмм методом Савицкого-Голея / А.В. Гордиевич, И.И. Ревинская // Электронные системы и технологии: 57-я научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов, Минск, 19-23 апреля 2021 г.: сборник тезисов докладов / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники. – Минск: БГУИР, 2021. – С.166–167.

5–А. Васковская, Л.Ф. Многоканальный электрокардиограф с фильтрацией электрокардиограмм методами медиан, Савицкого-Голея и Чебышева / Л.Ф. Васковская, А.В.Гордиевич, П.В. Камлач // ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ И УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ Международный научно-технический журнал. – 2021. – Том 19, № 6. – С.45–54.

6–А. Гордиевич, А.В. Фильтрация электрокардиосигналов методом комбинации фильтров Чебышева и Савицкого-Голея / А.В. Гордиевич, Н.И. Куприянов // Электронные системы и технологии: 58-я научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов, Минск, 18-22 апреля 2022 г.: сборник тезисов докладов / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники. – Минск: БГУИР, 2022. – С.366–369.

7–А. Гордиевич, А.В. Исследование влияния применения фильтров на сигнал электрокардиограммы / А.В. Гордиевич, Л.Ф. Васковская, П.В. Камлач // Материалы девятой международной научно-практической конференции «BIG DATA and Advanced Analytics Conference and EXPO» – Минск, 2023 (в печати).

8–А. Борисюк, М.А. Расширение возможностей автоматизированной системы обработки радиолокационной информации за счет обеспечения раздельного сопровождения воздушных объектов в плотных потоках / М.А. Борисюк, А.В. Скопец, А.В. Гордиевич, Л.Ф. Васковская // 38-я научно-техническая конференция открытого акционерного общества «АГАТ – системы управления» – управляющая компания холдинга «Геоинформационные системы управления»: сборник докладов. – Минск: 2022. – С.28–33.

9–А. Васковская, Л.Ф. Развитие технологий сбора и обработки информации об объектах обстановки инфракрасными средствами / Л.Ф. Васковская, А.В. Гордиевич, П.В. Камлач // Актуальные проблемы физики, электроники и энергетики: электронный сборник статей II Международной научно-практической конференции, Новополоцк, 27-28 октября 2022 г. / Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой. – Новополоцк, 2023. – С.105–111.

10–А. Вашкевич, В.С. Автоматизированная идентификация объектов по радиолокационным и картографическим данным / В.С. Вашкевич, А.В. Гордиевич // Электронные системы и технологии: 59-я научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов, Минск, 17-21 апреля 2023 г.: сборник тезисов докладов / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники. – Минск: БГУИР, 2023 (в печати).

11–А. Вашкевич, В.С. Автоматизированная система идентификации объектов по радиолокационным и картографическим данным / В.С. Вашкевич, А.В. Гордиевич, Л.Ф. Васковская // Материалы девятой международной научно-практической конференции BIG DATA and Advanced Analytics Conference and EXPO» – Минск, 2023 (в печати).

12–А. Скрипка, А.Д. Микропроцессорная система для сбора, обработки и передачи данных о состоянии здоровья / А.Д. Скрипка, А.В. Гордиевич, Е.Ф. Апочкина, Л.Ф. Васковская, И.А. Карпович // Журнал Белорусского государственного университета. Физика. – 2023. – №2. – С.35–41.

13–А. Гордиевич, А.В. Автоматизированная система контроля «Диспетчер здоровья» / А.В. Гордиевич, А.Д. Скрипка // Электронные системы и технологии: 59-я научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов, Минск, 17-21 апреля 2023 г.: сборник тезисов докладов / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники. – Минск: БГУИР, 2023 (в печати).

14–А. Гордиевич, А.В. Выбор и оценка элементной базы для автоматизированной системы медицинской диагностики «Диспетчер здоровья» / А.В. Гордиевич, А.Д. Скрипка // Электронные системы и технологии: 59-я научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов, Минск, 17-21

апреля 2023 г.: сборник тезисов докладов / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники. – Минск: БГУИР, 2023 (в печати).

15–А. Гордиевич, А.В. Автоматизированная система контроля «Диспетчер здоровья» / А.В. Гордиевич, А.Д. Скрипка, П.В. Камлач // Материалы девятой международной научно-практической конференции BIG DATA and Advanced Analytics Conference and EXPO» – Минск, 2023 (в печати).