

УДК 611.08

## ФИЛЬТРАЦИЯ ЭЛЕКТРОКАРДИОСИГНАЛОВ МЕТОДОМ КОМБИНАЦИИ ФИЛЬТРОВ ЧЕБЫШЕВА И САВИЦКОГО-ГОЛЕЯ

*Гордиевич А.В., Куприянов Н.И.*

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,  
г. Минск, Республика Беларусь*

*Научный руководитель: Камлач П.В. – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры ЭТТ*

**Аннотация.** Разработан алгоритм и программа фильтрации электрокардиосигнала. Перед оценкой электрокардиограммы и сравнение ее с нормальными показателями возникает задача фильтрации шума с сохранением положения границ и высоты зубцов. Фильтрация электрокардиосигнала методом комбинации фильтров Чебышева и Савицкого-Голея повышает точность и достоверность регистрации параметров электрокардиосигнала, увеличивает качество обработки сигналов и улучшает качество фильтрации сигналов.

**Ключевые слова:** ЭКГ, ЭКС, фильтрация, фильтр Савицкого-Голея, фильтр Чебышева.

**Введение.** Самым распространенным и доступным методом функциональной диагностики болезней сердца является электрокардиография. Электрокардиография – электрофизиологическая методика регистрации и исследования электрических полей, образующихся при работе сердца.

Имеющиеся аппараты для снятия электрокардиограммы (ЭКГ) и традиционные методы анализа электрокардиограмм не всегда позволяют диагностировать сердечные заболевания с высокой достоверностью и точностью. Зачастую достаточно серьезные сердечные заболевания отражаются на ЭКГ лишь незначительным изменением амплитуды и формы пиков. Во многих случаях точность диагноза зависит от опыта и уровня классификации врача. Чтобы улучшить диагностические свойства ЭКГ, исключить «человеческий фактор», нужно автоматизировать получение данных и расширить состав измеряемых параметров для анализа ЭКГ, найти такие методы, которые были бы способны распознавать наиболее характерные статические параметры ЭКГ и отслеживать динамику их изменений при тех или иных заболеваниях.

**Основная часть.** Разработан алгоритм и программа фильтрации ЭКГ. Для фильтрации электрокардиосигнала (ЭКС) разработаны фильтры, устраняющие шумы измерений, но при этом сохраняющие положения границ и высоты зарегистрированных зубцов. В качестве таких фильтров рассмотрено использование одиночных фильтров, и комбинации последовательно соединенных фильтра Савицкого-Голея и фильтра Чебышева [1]. Существует возможность настройки параметров этих фильтров.

В условиях активной жизнедеятельности на измеряемые электрические сигналы биопотенциалов сердечной мышцы накладываются аддитивные помехи: наводки от сети электропитания и низкочастотных источников электромагнитного поля, потенциалы поляризации электродов отведений, двигательные артефакты и треморы (дрожание) пациента [2]. Присутствие помех в различной степени искажает параметры сигналов биопотенциалов сердечной мышцы, ухудшают соотношения сигнал/шум. Это затрудняет оценку важных для диагностики показателей ЭКГ, в результате чего истинные сигналы биопотенциалов сердечной мышцы не могут быть правильно классифицированы по ЭКГ.

Устранение помех достигается аппаратными средствами и с помощью последующей фильтрации. Для повышения достоверности и точности оценки диагностически значимых параметров (ДЗП) необходима фильтрация принимаемых от электродов отведений сигналов специальными программными фильтрами. Фильтры Савицкого-Голея и Чебышева предназначены для устранения влияния других высокочастотных шумов и помех. Данные фильтры рекомендуется применять в комбинации. Для каждого фильтра может выполняться

настройка параметров, предоставляемая в интерфейсе специалистам, в зависимости от диагностируемых по ЭКГ параметров [3].

Способ фильтрации шумов фильтром Савицкого-Голея основан на методе наименьших квадратов (МНК) [4]. Согласно этому методу  $2n+1$  последовательных равноотстоящих точек аппроксимируются МНК полиномом  $2k$ -й степени ( $k < n$ ), и в качестве сглаженного значения используется значение полинома в  $(n+1)$ -й точке. Математически это значение вычисляется путем скользящего среднего взвешенного средним с весами точек, положительными в центре окна фильтрации и отрицательными на периферии (рисунок 1).



Рисунок 1 – Графики весов точек для методов скользящего взвешенного среднего (ширина окна 11 точек)

Рассматривая данный способ как последовательность точек, принимаемых последовательно во времени, следует указать, что достоинством данного метода фильтрации является то, что сглаженное значение определяется не для последней поступившей точки, а для точки, находящейся внутри интервала наблюдения, в которой известна предыстория до заданной точки и развитие ситуации после заданной точки. Это повышает достоверность сглаживания.

Для фильтрации сигналов ЭКГ можно использовать фильтры Савицкого-Голея первого и более высоких порядков. При повышении порядка фильтра усиливается фильтрующая способность для высокочастотных процессов [5].

Чем больше длина скользящего окна фильтра Савицкого-Голея, тем более точным получается значение сглаженной центральной точки. Но при большой длине окна значение сглаженной центральной точки слишком усредняется, что вносит определенную погрешность и снижает динамическую чувствительность фильтра. Исходя из этого длина скользящего окна для фильтра Савицкого-Голея выбирается в конкретных ситуациях.

Фильтры Чебышева основаны на аппроксимации последовательности сигналов скользящего окна степенным полиномом. Для устранения влияния шумов в сигналах ЭКГ могут использоваться фильтры Чебышева первого и более высоких порядков. Следует иметь в виду, что при применении фильтров Чебышева более высоких порядков приводит к более точной аппроксимации последовательности сигналов кривой заданного порядка, а не к

сглаживанию влияния помех. Применительно к сглаживанию ЭКГ в результате проведенных исследований рекомендуется использовать фильтр Чебышева первого порядка.

Для настройки фильтра Чебышева, а также и других рассмотренных фильтров необходимо назначать количество сигналов в обрабатываемом скользящем окне. При увеличении количества сигналов в скользящем окне повышается инерционность фильтра, при уменьшении – ухудшаются сглаживающие свойства.

На рисунках 2-3 представлены иллюстрации результатов работы последовательности фильтров при использовании разных степеней применяемых полиномов и количеством сигналов, полученных от электрода отведения, при количестве сигналов в обрабатываемом скользящем окне равном 21.

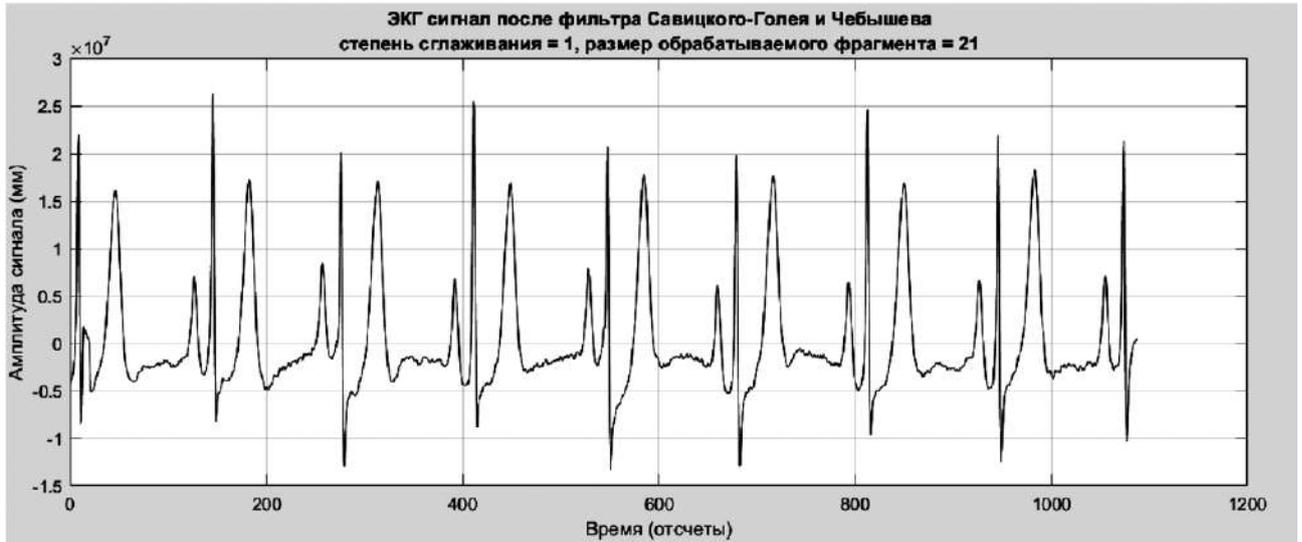


Рисунок 2 – Сигналы ЭКГ, сглаженные фильтрами Савицкого-Голея и Чебышева первого порядка

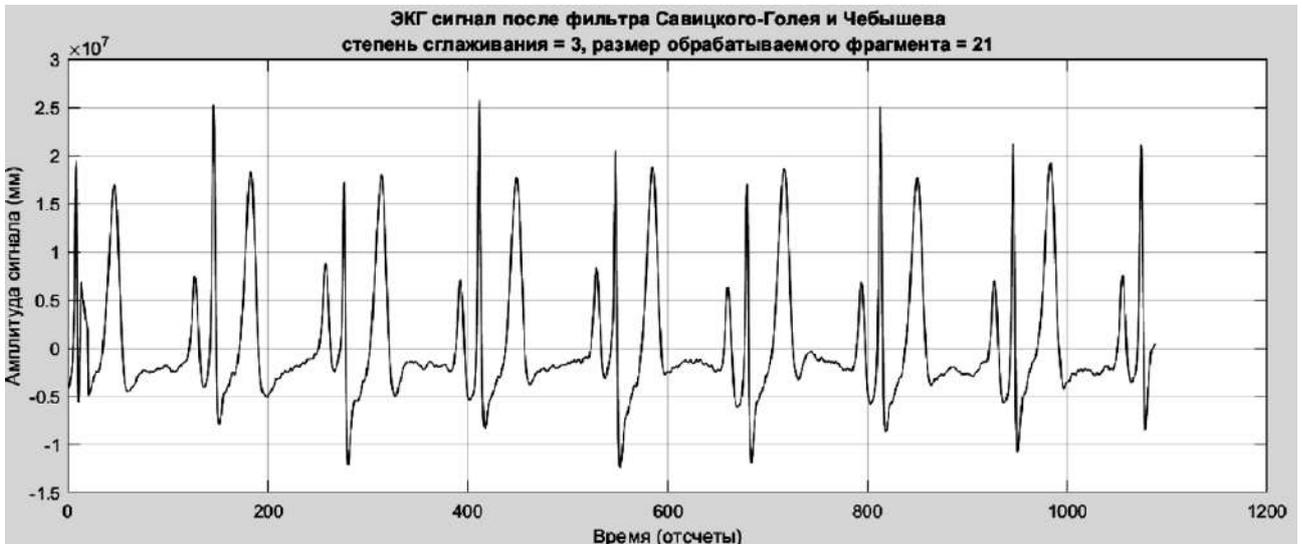


Рисунок 3 – Сигналы ЭКГ, сглаженные фильтром Савицкого-Голея третьего порядка и фильтром Чебышева первого порядка

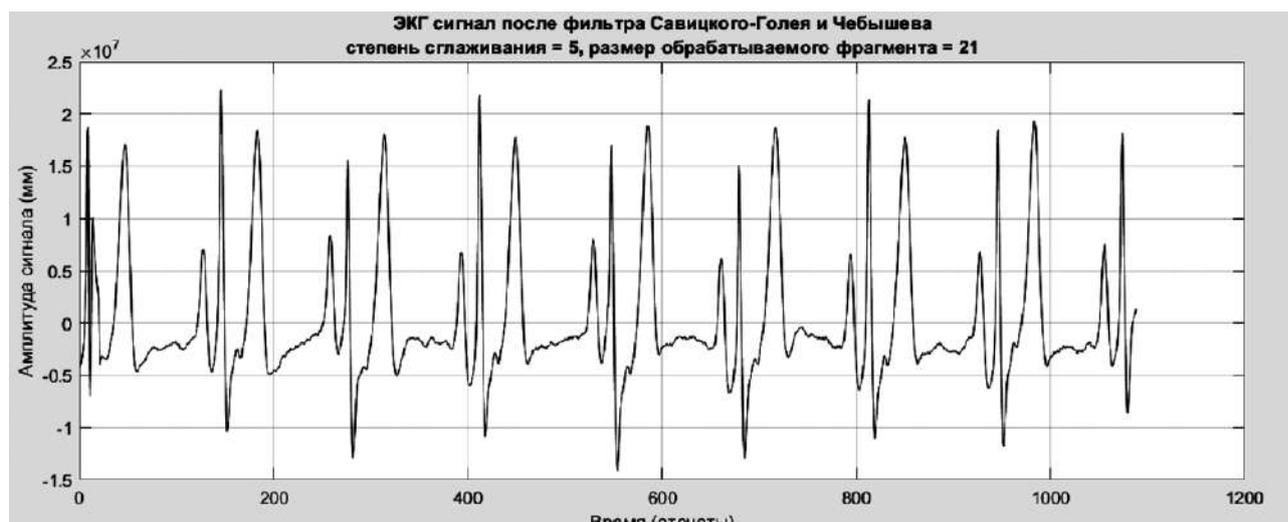


Рисунок 4 – Сигналы ЭКГ, сглаженные фильтром Савицкого-Голея пятого порядка и фильтром Чебышева первого порядка

**Заключение.** Сглаживающие фильтры Савицкого-Голея работают намного лучше обычных усредняющих нерекурсивных фильтров, которые имеют тенденцию удалять вместе с шумом значительную долю высокочастотных составляющих сигнала. Фильтры Савицкого-Голея осуществляют полиномиальную аппроксимацию отдельных кадров входного сигнала по критерию минимума квадратической ошибки. В этом смысле они являются оптимальными.

#### Список литературы

1. 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.
2. Система электрокардиографической диагностики критических состояний в условиях свободной активности пациента: диссертация доктора технических наук: 05.11.17/Кривоногов Леонид Юрьевич; [Место защиты: Пенз. гос. ун-т]. - Пенза, 2017. - 412 с.
3. 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
4. A. Savitzky and M. J.E. Golay. Smoothing and differentiation of data by simplified least squares procedures // *Anal. Chem. Vol. 36. PP. 1627-1639. 1964.*
5. Ronald W. Schafer. What is a Savitzky-Golay filter? // *IEEE Signal Processing Magazine. 2011. PP. 111-117.*

UDC 611.08

## FILTERING OF ELECTROCARDIAC SIGNALS BY THE METHOD OF COMBINATION OF FILTERS OF CHEBYSHEV AND SAVITSKY-GOLAY

Hardziyevich A.V., Kupryianau M.I.

*Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus*

*Kamlach P.V. – PhD, assistant professor, associate professor of the department of EET*

**Annotation.** The Algorithm and Program of electrocardiosignals filtering are developed. Before the electrocardiogram estimation and compare with normal qualitative characteristics the task of noise filtering and keeping the position and height of electrocardiographic wave is appeared. The electrocardiosignals filtering by Chebyshev and Savitsky-Golay filters combination extends precision and reliability of electrocardiosignals recorded parameters, improves quality of signal processing and filtering.

**Keywords:** ECS, ECG, electrocardiosignal, filtering, Savitsky-Golay filter, Chebyshev filter.