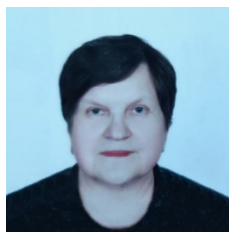


УДК 611.08

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ФИЛЬТРОВ НА СИГНАЛ ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАММЫ



**А.В. Гордиевич**  
ОАО «АГАТ-системы  
управления» - управляющая  
компания холдинга  
«Геоинформационные  
системы управления»,  
инженер-программист  
alinagordievich78@gmail.com



**Л.Ф. Васковская**  
ОАО «АГАТ-системы  
управления» - управляющая  
компания холдинга  
«Геоинформационные  
системы управления»,  
ведущий системный  
аналитик  
lidavask@yandex.by



**П.В. Камлач**  
Заместитель декана ФКП,  
доцент кафедры  
электронной техники и  
технологии БГУИР,  
кандидат технических наук,  
доцент  
kamlachpv@bsuir.by

### **А.В. Гордиевич**

Окончила Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники. Область научных интересов связана с разработкой методов и алгоритмов автоматизированных систем сбора и обработки информации для контроля за состоянием здоровья.

### **Л.Ф. Васковская**

Окончила Минский радиотехнический институт. Область научных интересов связана с разработкой автоматизированных систем сбора и обработки информации о воздушной, наземной и надводной обстановках.

### **П.В. Камлач**

Окончил Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники. Область научных интересов связана с разработкой и моделированием работы систем медицинского назначения.

**Аннотация.** Выполнено сравнение эффективности фильтров ЭКГ в системе MatLab для обработки сигналов ЭКГ. Проведен анализ фильтров Савицкого-Голея, Чебышева, и комбинации фильтров Савицкого-Голея и Чебышева по критериям эффективности сглаживания, удаления шума и сохранения морфологии ЭКГ сигнала.

Результаты сравнения показали, что фильтр, основанный на комбинации фильтров Савицкого-Голея и Чебышева, обеспечил наилучшую эффективность по всем критериям. Он позволяет удалить шумы и артефакты без искажения морфологии сигнала и сохранения высокой точности результатов. Предложенный подход может быть применен в широком спектре задач – от анализа ЭКГ сигналов до мониторинга сердечной деятельности.

**Ключевые слова:** ЭКГ, обработка сигналов ЭКГ, эффективность фильтров ЭКГ, фильтр Савицкого-Голея, фильтр Чебышева.

### **Введение.**

Одним из важных методов диагностики заболеваний сердечно-сосудистой системы является электрокардиография.

Этот метод позволяет выявить признаки коронарной недостаточности, нарушений ритма сердца и проводимости, гипертрофии различных отделов сердца.

Электрокардиография (ЭКГ) – метод графической регистрации электрических явлений, возникающих в сердечной мышце при ее возбуждении. ЭКГ позволяет изучить автоматизм, проводимость, возбудимость и рефрактерность сердечной мышцы.

### **Актуальность.**

Сигнал ЭКГ очень чувствителен к помехам, которые могут возникать в процессе исследования, такие как движения пациента, электромагнитные помехи, мускульный шум и т.д.

Фильтрация сигнала ЭКГ позволяет удалить эти помехи, что позволит более точно определить наличие или отсутствие патологий сердца.

Фильтрация сигнала ЭКГ позволяет выделить некоторые особенности сигнала, такие как амплитуда, частота и продолжительность, которые могут быть связаны с различными патологиями сердца. Без фильтрации, получение точной информации из электрокардосигнала (ЭКС) может быть затруднительным, что может повлиять на диагностику и лечение пациентов.

Кроме того, фильтрация ЭКГ имеет особую актуальность в условиях современной медицины, где пациентам проводят длительные мониторинги ЭКГ и выявляют некоторые заболевания, которые можно диагностировать только по длительному анализу сигнала.

Таким образом, фильтрация ЭКГ является необходимым элементом в диагностике не только частных пациентов, но и в широких исследованиях сердечно-сосудистой системы в целом, что подчеркивает ее актуальность.

#### Моделирование идеального ЭКГ сигнала.

Для исследования влияния фильтров на ЭКГ сигнал в системе MatLab был построен идеальный ЭКГ сигнал (рисунок 1).

Для моделирования была использована встроенная функция  $ecg(n)$ , которая строит один кардиоцикл длиной  $n$  точек [2].

Для ЭКГ сигнала задали следующие входные параметры:

1. Частота дискретизации сигналов:  $F_d = 1000$  Гц;
2. Амплитуда кардосигнала:  $A_{ecg} = 200$  мВ;
3. Частота сердечных сокращений:  $F_{ecg} = 60$  уд/мин;
4. Длительность требуемого сигнала:  $T_{sign} = 6$  секунд;

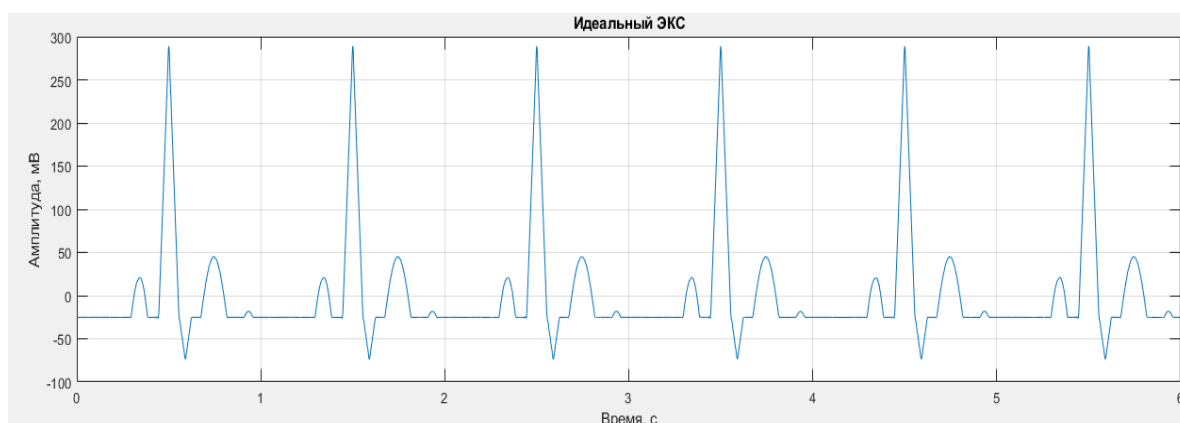


Рисунок 1. Идеальный ЭКС в системе MatLab

Затем к идеальному ЭКС добавили белый и гармонический шумы, со следующими входными параметрами:

1. Амплитуда сигнала белого шума:  $A_{Wn} = 50$  мВ;
2. Амплитуда сигнала гармонического шума:  $A_{sin} = 20$  мВ;
3. Частота дискретизации сигналов:  $F_d = 1000$  Гц;
4. Частота синусоидального сигнала:  $F_{sin} = 150$  Гц;

Построенный ЭКС с помехами представлен на рисунке 2.

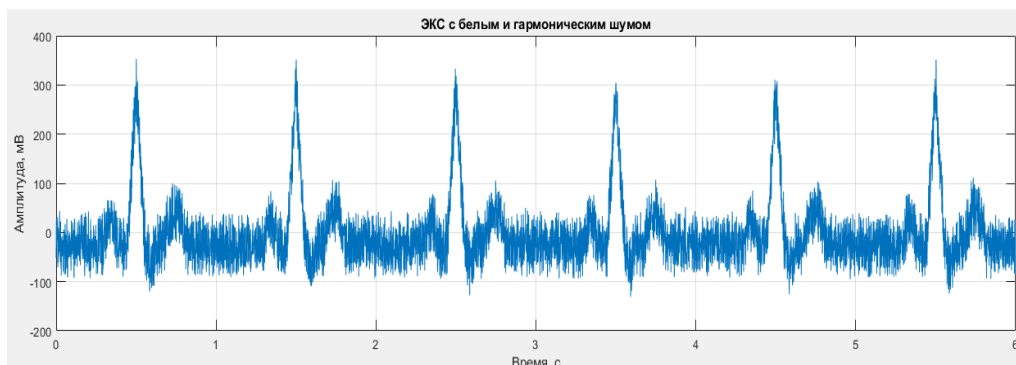


Рисунок 2. ЭКС с белым и гармоническим шумом в системе MatLab

### Фильтр Савицкого-Голея.

Фильтр Савицкого-Голея [3, 4] имеет входной параметр – размер окна фильтра.

В первую очередь производились исследования по изменению среднеквадратического отклонения и коэффициента подавления случайной помехи от размера окна фильтра для 10 ЭКС с фиксированными уровнями помех на входе фильтра.

Результаты исследования показали, что наибольшее подавление помех происходит при размере окна фильтра Савицкого-Голея 13 точек.

Так как большинство фильтров не обеспечивают сохранение формы полезного сигнала на локальных участках (зубцах, комплексах и сегментах), исследования проводились в следующих направлениях:

1. Нахождение среднеквадратической ошибки отклонения, полученной по всему исследуемому фрагменту ЭКС, включающему 6 кардиоциклов;
2. Нахождение среднеквадратической ошибки отклонения на критичных для диагностики участках:
  - a. Зубцы P, Q, R, S, T, U;
  - b. Интервалы PQ, QT, ST.
  - c. Сегменты PQ, ST;
  - d. Комплекс QRS;

Все расчеты проводились в системе MatLab. Результаты расчетов представлены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты исследования изменения среднеквадратической ошибки отклонения на разных компонентах электрокардиограммы после применения фильтра Савицкого-Голея

Компоненты электрокардиограммы		Среднеквадратическая ошибка отклонения, %
Зубец	P	107,18
	Q	46,12
	R	41,56
	S	59,68
	T	47,45
	U	34,71
Сегмент	PQ	45,36
	ST	43,15
Интервал	PQ	47,14
	QT	43,44
	ST	46,76
Комплекс	QRS	43,25
Весь участок (6 кардиоциклов)		43,08

На рисунке 3 представлен увеличенный (отмасштабированный) ЭКС после применения фильтра Савицкого-Голея.

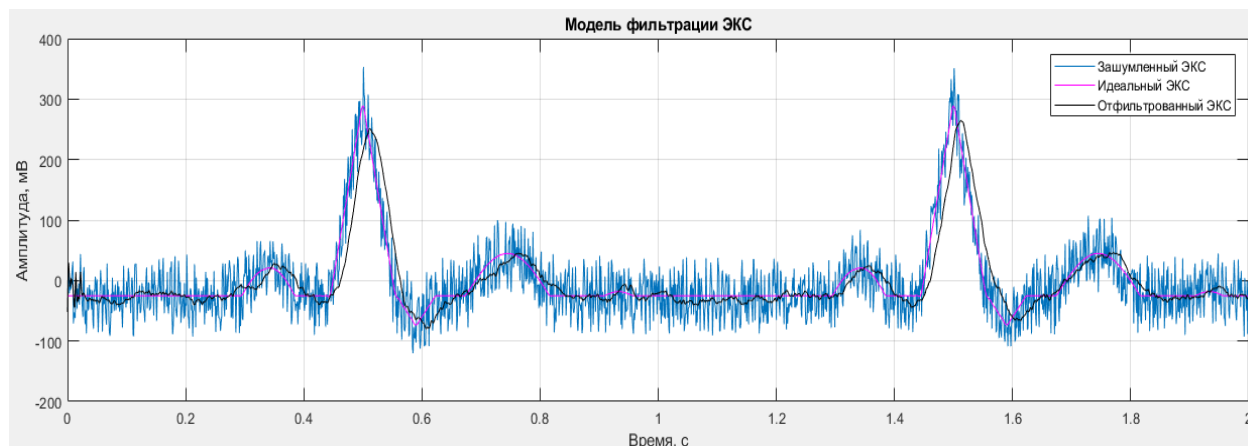


Рисунок 3. Увеличенный ЭКС после применения фильтра Савицкого-Голея

Использование фильтра Савицкого-Голея позволяет снизить долю высокочастотных составляющих ЭКС. Данный фильтр справляется с задачей фильтрации шумов ЭКС на 56,92%, максимальное значение СКО отклонения сигнала наблюдалось в зубце Р – 107,18% и минимальное значение в зубце U – 34,71%. На рисунке 4.5 видно, что фильтр Савицкого-Голея дает смещение по оси времени и полученный отфильтрованный ЭКС труден для восприятия, т.к. подавляет помехи не в полной степени.

#### Фильтр Чебышева.

Фильтр Чебышева [5, 6] также был исследован в нескольких направлениях: нахождение среднеквадратической ошибки отклонения, полученной по всему исследуемому фрагменту ЭКС, включающему 6 кардиоциклов и нахождение среднеквадратической ошибки отклонения на критичных для диагностики участках (зубцы, интервалы, сегменты, комплекс).

Все расчеты проводились в системе MatLab. Результаты расчетов представлены в таблице 2.

Таблица 2. Результаты исследования изменения среднеквадратической ошибки отклонения на разных компонентах электрокардиограммы после применения фильтра Чебышева

Компоненты электрокардиограммы		Среднеквадратическая ошибка отклонения, %
Зубец	P	31,36
	Q	10,67
	R	9,94
	S	14,64
	T	19,92
	U	27,45
Сегмент	PQ	12,53
	ST	13,49
Интервал	PQ	13,07
	QT	11,03
	ST	18,85
Комплекс	QRS	12,47
Весь участок (6 кардиоциклов)		15,68

На рисунке 4 представлен увеличенный (отмасштабированный) ЭКС после применения фильтра Чебышева.

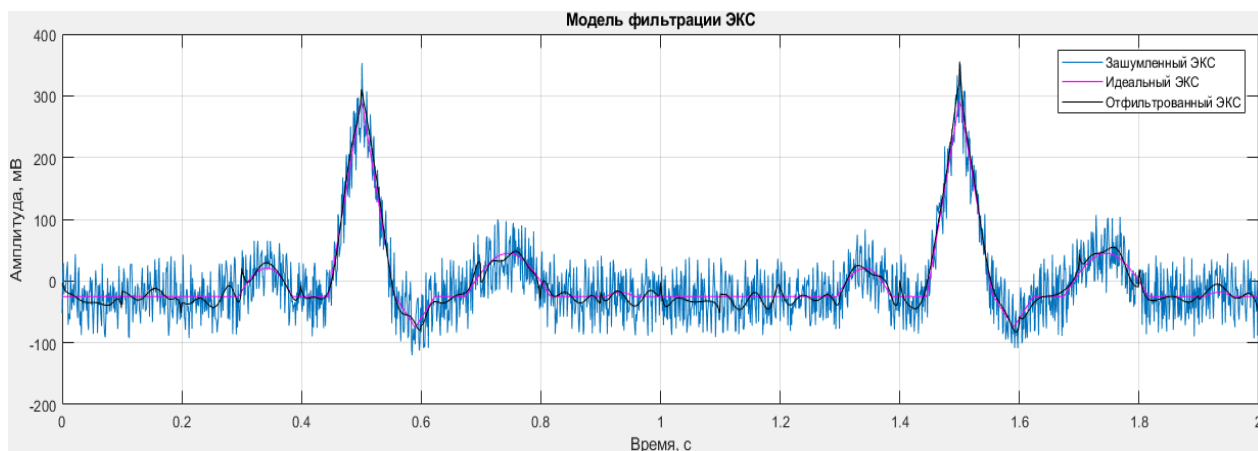


Рисунок 4. Увеличенный ЭКС после применения фильтра Чебышева

Использование фильтра Чебышева позволяет снизить долю высокочастотных составляющих ЭКС, при этом увеличивая амплитуду зубцов, что может повлиять на результат постановки диагноза. Фильтр Чебышева подавил шумы на 84,32%, при этом максимальное значение СКО отклонения сигнала наблюдалось в зубце Р – 31,36% и минимальное значение в зубце R – 9,94%.

#### **Комбинация фильтров Савицкого-Голея и Чебышева.**

Разработанный фильтр имеет входной параметр – размер окна фильтра Савицкого-Голея. В первую очередь производились исследования по изменению среднеквадратического отклонения и коэффициента подавления случайной помехи от размера окна фильтра Савицкого-Голея, для 10 ЭКС с фиксированными уровнями помех на входе фильтра. Результаты исследования показали, что наибольшее подавление помех происходит при размере окна фильтра Савицкого-Голея 19 точек.

Так как большинство фильтров не обеспечивают сохранение формы полезного сигнала на локальных участках (зубцах, комплексах и сегментах), исследования проводились в следующих направлениях:

1. Нахождение среднеквадратической ошибки отклонения, полученной по всему исследуемому фрагменту ЭКС, включающему 6 кардиоциклов;

2. Нахождение среднеквадратической ошибки отклонения на критичных для диагностики участках:

- a. Зубцы P, Q, R, S, T, U;
- b. Интервалы PQ, QT, ST.
- c. Сегменты PQ, ST;
- d. Комплекс QRS;

Все расчеты проводились в системе MatLab.

Результаты расчетов представлены в таблице 3.

Таблица 3. Результаты исследования изменения среднеквадратической ошибки отклонения на разных компонентах электрокардиограммы после фильтрации ЭКС методом комбинации фильтров Савицкого-Голея и Чебышева

Компоненты электрокардиограммы		Среднеквадратическая ошибка отклонения, %
Зубец	P	13,71
	Q	10,17
	R	7,27
	S	13,05
	T	12,91
	U	12,55
Сегмент	PQ	11,82
	ST	13,08
Интервал	PQ	12,05
	QT	9,08
	ST	16,76
Комплекс	QRS	8,39
Весь участок (6 кардиоциклов)		9,07

На рисунке 5 представлен увеличенный (отмасштабированный) ЭКС после применения метода комбинации фильтров Савицкого-Голея и Чебышева.

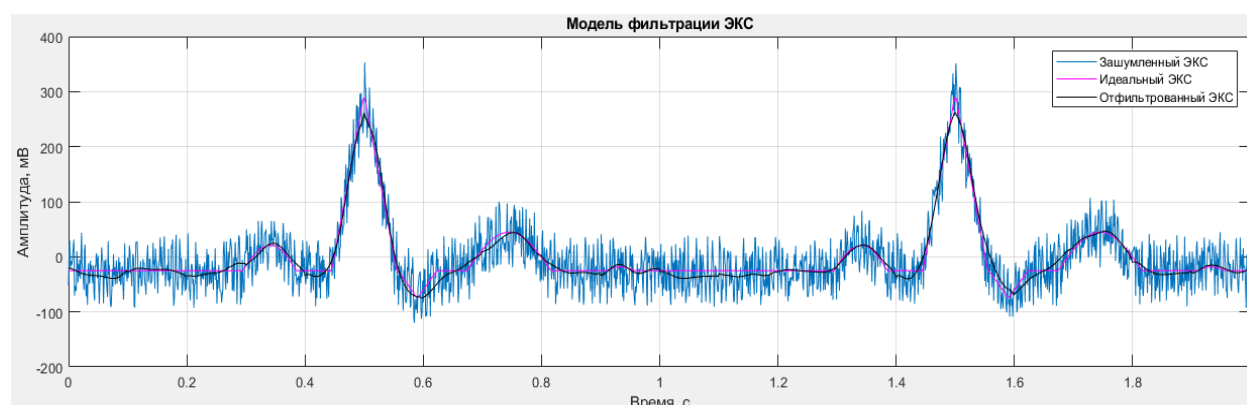


Рисунок 5. Увеличенный отфильтрованный ЭКС после применения метода комбинации фильтров Савицкого-Голея и Чебышева

Использование метода комбинации фильтров Савицкого-Голея и Чебышева снижает долю высокочастотных составляющих ЭКС, подавляет шумы на 90,93%, при этом максимальное значение СКО отклонения сигнала наблюдалось на интервале ST – 16,76% и минимальное значение в зубце R – 7,27%.

**Заключение.**

По результатам исследования можно сделать вывод, что метод комбинации фильтров Савицкого-Голея и Чебышева устраняет помехи без потерь качества ЭКС как на всем исследуемом фрагменте ЭКС, так и на критичных для диагностики участках. На рисунке 5 видно, что амплитуда зубцов и продолжительность интервалов, по которым ставится диагноз, не изменилась в значительной степени. По обработанному сигналу можно поставить правильный диагноз, следовательно, разработанный фильтр справляется с поставленной задачей: фильтрует шумы и помехи, не искажая исходный ЭКС.

### **Список литературы**

- [1] Шарыкин, А. С. Врожденные и приобретенные заболевания клапанов сердца / А. С. Шарыкин. – Москва; Рязань: ГУП РО «Рязанская обл. тип.», 2019. – 216 с.
- [2] Полковникова, Н. А. Научные и инженерные расчеты в среде MatLab. Учебное пособие / Н.А. Полковникова. – М.: Моркнига, 2019. – 143 с.
- [3] Savitzky A., Smoothing and Differentiation of Data by Simplified Least Squares Procedures / A. Savitzky, J.E. Golay // Analytical Chemistry, 1964. – Vol. 36, № 8. – С. 1627 – 1639.
- [4] Schaferm, R.W. What Is a Savitzky-Golay Filter / R.W. Schaferm // IEEE signal processing magazine, 2011. – № July. – С. 111 – 117.
- [5] Данилов Ю.А. Многочлены Чебышева / Ю.А. Данилов – М.: Высш. школа, 1984. – 158 с.
- [6] Грибкова В.П. Эффективные методы равномерных приближений, основанные на полиномах Чебышева / В.П. Грибкова. – Москва: Спутник, 2017– 194 с.

## **FILTERS INFLUENCE ON ECG SIGNALS RESEARCH**

***A.V. Hardziyevich***

*Open joint-stock company  
«AGAT – Control Systems –  
Managing Company of  
Geoinformation Control  
Systems Holding»,  
engineer-programmer*

***L.F. Vaskovskaya***

*Open joint-stock company  
«AGAT – Control Systems –  
Managing Company of  
Geoinformation Control  
Systems Holding»,  
leading system analyst*

***P.V. Kamlach***

*Deputy Dean of the Faculty  
of Computer-Aided Design, Associate  
professor of the Academic  
department of  
electronic technique and technology,  
PhD, associate professor*

*Department of Electronic technique and technology Faculty of Computer Engineering  
Belarusian State University of computer science and Radio Electronics, Republic of Belarus  
E-mail: alinagordievich78@gmail.com*

**Abstract.** The ECG filters effectiveness comparison for ECG signals processing was completed in MatLab (computing platform). Savitzky-Golay filter, Chebyshev filter, combined Savitzky-Golay and Chebyshev filter analysis was carried out in according with the criterions of smoothing effectiveness, noise removal and the ECG signal morphology saving

The comparison results showed, that combined Savitzky-Golay and Chebyshev filters provided the best effectiveness according to all of the criterions. It allows to remove noises and artifacts without any distortion of the signal morphology and maintains high accuracy. Proposed approach can be used in wide spectrum of tasks – from ECG signals analysis to heart activity monitoring.

**Keywords:** ECG (ElectroCardioGram, ECG signals processing, ECG filters effectiveness, Savitzky-Golay filter, Chebyshev filter.