

В Е С Т Н И К

**АЛМАТИНСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ**

№ 4(4) (43)

2018

**Научно-технический журнал
Выходит 4 раза в год**

Алматы

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

M.D. Adambaev, A.R. Fazylova

ANALYSIS OF THE APPLICATION OF WIND-GENERATORS IN ALMATY

С. К. Шерьязов, К.Т.Тергемес

УСЛОВИЯ ВЫБОРА ВЕТРОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ
В СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

С.И. Латыпов, Н.И. Калантаевская, К.Т. Кошекков, А.А. Савостин

ДИСТАНЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ СИЛОВЫХ
ТРАНСФОРМАТОРОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ
ДИАГНОСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ

Б.С. Байкенов, К.С. Савин, А.Р. Фазылова

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК
ДВИЖЕНИЯ ЭКЗОСКЕЛЕТА

В. А. Васильев, К. М. Асанова

МОДЕРНИЗАЦИЯ ЦЕХА МАГНИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ ТИТАНА

Е.С. Риттер, В.П. Кисмирешкин, К.Т. Кошекков, Д.В. Риттер

ПРОМЫШЛЕННЫЙ НАГРЕВ НА ОСНОВЕ ОДНОПРОВОДНОЙ
ЛИНИИ ПЕРЕДАЧИ СВЧ ЭНЕРГИИ

Г.В. Савостина, Д.В. Риттер, С.И. Латыпов

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПОДАВЛЕНИЯ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ
ИСКАЖЕНИЙ ПРИ ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАФИЧЕСКИХ
ИЗМЕРЕНИЯХ

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Б.В. Кошеккова, Ю.Н. Кликушин, А.А. Савостин

АЛГОРИТМ КОМПЬЮТЕРНЫХ ИДЕНТИФИКАЦИОННЫХ
ИЗМЕРЕНИЙ КАК ИНСТРУМЕНТ АНАЛИЗА СЕЙСМИЧЕСКИХ
ДАННЫХ

Тойбаев С. Н., Ибраев М.С., Сәрсенбай А.С.
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УРАВНЕНИЯ
КОЛЕБАНИЯ СТЕРЖНЯ С ДЕФОРМИРУЕМОЙ СРЕДОЙ ПРИ
РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ КОНТАКТА

И. Э. Сулейменов, Е. С. Витулёва
ПРОЛЕГОМЕНЫ К ОБЩЕЙ ТЕОРИИ РАЗВИТИЯ
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ ИНДУСТРИИ

**Витулёва Е.С., Сапанова Э.С., Сысоева-Массон И.С., Сулейменова
З.К., Сулейменов И.Э.**
К ВОПРОСУ О ПРИНЦИПАХ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЦЕНТРОВ
КОМПЕТЕНЦИЙ

Ахмедов Д.Ш., Еремин Д.И., Жаксыгулова Д.Г., Трепашко С.
МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СИСТЕМЫ ИМИТАЦИОННОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ

Айтмагамбетов А.З., Еремин Д.И., Жаксыгулова Д.Г.
МЕТОДЫ И МЕТОДИКИ ОТСЛЕЖИВАНИЯ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ В
РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

М. М. Молдабеков, Д. И. Еремин, Д. Г. Жаксыгулова, С. Трепашко
СОЗДАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СЕТЕВОЙ
ИНФРАСТРУКТУРОЙ РЕФЕРЕНЦНЫХ GNSS СТАНЦИЙ С
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОБЛАЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЯ

Зальцман М. Д., Абдрешов Ш. А., Махимова А. М.
ОРГАНИЗАЦИЯ КОНТРОЛЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ
ИЗЛУЧЕНИЙ ПРИ АТТЕСТАЦИИ РАБОЧИХ МЕСТ

Ахмедов Д.Ш., Еремин Д.И., Жаксыгулова Д.Г.

**АРХИТЕКТУРА СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ
МОРЕНЫХ ОЗЕР**

М.Ж. Жантурин, К.Т. Тергемес

ЛАБОРАТОРНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ПО ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ

ИННОВАЦИИ В ВЫСШЕМ ОБРАЗОВАНИИ

Zh. Erzhanova, J. K. Koxegen, Sh. I. Imangaliev

**TO THE QUESTION OF LEARNING ENGLISH SYSTEMATICALLY
FOR TECHNICAL SPECIALTIES**

Аңдатпа. Мақалада аса жоғары жиілікті энергияны жеткізудің бір жетекті сызықты негізінде өнеркәсіптік жылу ұсынылған. Осыған сәйкес сүректі аса жоғары жиілікті кептіруге арналған әзірленіп жатқан қондырғының сызбасы келтіріледі. Энергияны ең көп сіңіру мен ең аз қайта сәуле шығарудың тәртіптемелері толығымен мазмұндалады. Ұсынылатын әдістің артықшылықтары талқыланды: жиілігі мен тербеліс фазасы бойынша синхрондаусыз қуаты төмен АЖЖ генераторларды қолдану, АЖЖ энергияның қайта сәуле шығарғыштарын қолдану.

Беттік толқынды сызықты қоздыру үшін көпбілікті қондырғыға назар аударылды. Қоздырудың көпбілікті қондырғысы қыздырылған нысанда жылу қуатын қадамдық реттеуді жеткілікті түрде жүзеге асырады. Осындай артықшылықтар талап етілетін энергияны тарату, ең аз металды қажетсіну мен төмен құны бар қондырғыларды жүзеге асыруға мүмкіндік береді. Кеңейтілген нысандарына арналған E_{00} беттік толқынның өрісін қолдану көп мәселелерді шешуде көмек көрсетеді, дәстүрлі тәсілдерге қарағанда, яғни өте перспективалы болып табылады.

Кілт сөздер: аса жоғары жиілікті кептіру, толқынжол, өріс үлестірімі, қайта сәуле шығарғыш, балласты жүктеме.

INDUSTRIAL HEATING ON THE BASIS OF A SINGLE-WIRE UHF ENERGY TRANSMISSION LINES

E.S. Ritter¹, V.P. Kismireskin², K.T. Koshekov¹, D.V. Ritter¹

¹The North Kazakhstan state university after M. Kozybaev, Petropavlovsk, Kazakhstan
The Omsk state technical university, Omsk, Russia

Abstract. The article proposed industrial heating based on a single-wire transmission line of microwave energy. In accordance with this, the scheme of the plant being developed for microwave drying of wood is given. The modes of minimum reradiation and maximum energy absorption are described in detail. The advantages of the proposed method are discussed: the use of low-power microwave generators without synchronization in the frequency and phase of oscillations, the use of microwave energy re-emitters.

Attention is paid to the multi-input device for the excitation of a surface wave line. The multi-input excitation device makes it easy to carry out stepwise adjustment of the thermal power in the heated object. Such advantages make it possible to realize installations with the required distribution of energy, minimal metal consumption and low cost. The use of the surface wave field E_{00} for heating extended objects allows us to solve many problems, in contrast to traditional methods, that is, it is very promising.

Key words: microwave heating, waveguide, field distribution, re-radiator, ballast load

:

ГРНТИ 47.05.17

Г.В. Савостина, Д.В. Риттер, С.И. Латыпов

Северо-Казахстанский государственный университет им. М. Козыбаева, г. Петропавловск,
Республика Казахстан

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПОДАВЛЕНИЯ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ ИСКАЖЕНИЙ ПРИ ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАФИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЯХ

Аннотация: В работе представлен сравнительный анализ основных методов цифровой обработки сигналов для подавления высокочастотных помех, возникающих в процессе

регистрации электрокардиограмм. Из-за спектрального состава таких помех форма полезного сигнала сильно искажается. В связи с этим в статье проводится сравнительная оценка эффективности основных существующих методов низкочастотной фильтрации электрокардиограмм. Для этого анализируются данные по качеству фильтрации рекурсивных и нерекурсивных цифровых фильтров (фильтр Баттерворта, экспоненциальный фильтр, фильтр скользящего среднего), алгоритма фильтрации путем обнуления составляющих спектра Фурье и вейвлетной фильтрации при восстановлении сигнала с перемасштабированными детализирующими коэффициентами, полученные в результате проведенных экспериментов для смоделированных электрокардиограмм и реальных записей. По результатам анализа сделаны выводы и рекомендации по применению рассмотренных методов.

Ключевые слова: электрокардиограмма, высокочастотная помеха, цифровая фильтрация, среднеквадратическая ошибка.

В процессе записи электрокардиограммы (ЭКГ), среди прочих, возникают высокочастотные помехи (ВЧ), основными видами которых являются: электрофизиологические шумы, собственные шумы электронных приборов, а также сетевая наводка [1]. Данные помехи могут проявляться как по отдельности, так и в комплексе, сильно искажая сигнал ЭКГ, вплоть до полной потери его информативности. Однако благодаря современному уровню развития электронных средств и выбору правильных схемотехнических решений последние два источника помех оказываются незначительными по сравнению с электрофизиологическими шумами.

В свою очередь, электрофизиологические шумы – это ВЧ-помехи в ЭКГ, вызванные наводкой от сопутствующего электромиографического сигнала, который связан с мышечным тремором или иной активностью групп мышц тела человека в местах наложения электродов. Так как в силу указанных причин избавиться от электрофизиологических шумов полностью не удастся, то организуются специальные меры по их удалению из полезного сигнала ЭКГ.

В современных компьютеризированных ЭКГ-комплексах регистрируемый ЭКГ-сигнал после дискретизации рассматривается в следующем виде:

$$y(kT) = s(kT) + \sum_{i=1}^l \varepsilon_i(kT), \quad (1)$$

где $s(kT)$ – незашумленный сигнал ЭКГ, $\varepsilon_i(kT)$ – аддитивная помеха, l – число аддитивных компонент, k – номера отсчетов сигнала, T – период дискретизации.

Для дистанционных диагностических исследований [2] необходимо использовать проверенные инструменты подавления помех, в условиях, когда непосредственный доступ к регистрации ЭКГ становится затруднительным. В соответствии с этим в данной работе решается актуальная задача по определению оптимальных алгоритмов устранения ВЧ-помехи из сигнала ЭКГ.

Тестирование эффективности алгоритмов осуществляется на модели ЭКГ [3] с аддитивной ВЧ-помехой и реальной записи ЭКГ, в которую искусственно введена аналогичная помеха. Обладая информацией об исходном незашумленном сигнале можно сравнить качество работы исследуемых методов.

ВЧ-помеха, представленная электрофизиологическим шумом моделируется в форме ограниченного по полосе частот аддитивного белого гауссова шума (АГБШ) с нулевым средним $\mu = 0$ и единичной дисперсией $\sigma^2 = 1$, так как в соответствии с центральной предельной теоремой,

совокупность сокращения групп мышц, состоящих из очень большого числа мышечных волокон, будет стремиться к гауссовому распределению [1]:

$$\varepsilon(kT) = \left(\left(10^{\frac{10 \lg P_S - SNR}{10}} \right)^{-\frac{1}{2}} \cdot \mathcal{N}(\mu = 0, \sigma^2 = 1) \right) \cdot H_{LP}(z), \quad (2)$$

где SNR – соотношение сигнал-шум; P_S – мощность ЭКГ-сигнала; $H_{LP}(z)$ – передаточная функция ограничивающего фильтра нижних частот.

Для оценки качества работы алгоритмов фильтрации вычисляются значения среднеквадратической ошибки:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{M} \sum_{k=1}^M (\hat{s}_k - s_k)^2}, \quad (3)$$

где s_k – составляющие вектора значений исходного сигнала ЭКГ $s(kT)$ до добавления моделируемой помехи (2); $\hat{s}_k$ – составляющие вектора наблюдаемых значений в результате фильтрации.

Относительная ошибка определяется как

$$RRSE = \frac{RMSE}{\sigma_s} \cdot 100, \quad (4)$$

где σ_s – стандартное отклонение исходного сигнала $s(kT)$ (1).

Согласно [4] верхняя частота информативных компонент ЭКГ сигнала для взрослых людей равна $f_c = 150$ Гц. Поэтому, при выборе средств низкочастотной (НЧ) фильтрации необходимо обеспечить частоту среза фильтров, равную рекомендуемому значению f_c . С учётом требования автоматизации процесса фильтрации были выбраны следующие алгоритмы обработки ЭКГ.

1. Фильтр нижних частот Баттерворта шестого порядка с нулевым фазовым сдвигом, частотой среза $f_c = 150$ Гц по уровню – 3 дБ. Порядок фильтра выбран как оптимальное соотношение между сложностью расчета и качеством фильтрации.

2. Экспоненциальный фильтр с нулевым фазовым сдвигом:

$$H_1(z) = \frac{\alpha}{1 - (1 - \alpha)z^{-1}}, \quad (5)$$

где α – постоянный весовой коэффициент, обеспечивающий $f_c = 150$ Гц.

3. Фильтр скользящего среднего с размером окна $w = \text{round}(0,003f_s)$, для принятой частоты среза f_c и частоты дискретизации f_s :

$$H_2(z) = \frac{1}{w} \cdot \frac{1 - z^{-w}}{1 - z^{-1}}. \quad (6)$$

4. Подавление шума путем обнуления ВЧ-составляющих в спектре ЭКГ, полученного в результате дискретного преобразования Фурье (ДПФ), и восстановления модифицированного сигнала ЭКГ при помощи обратного ДПФ.

5. Подавление шума путем восстановления сигнала ЭКГ с перемасштабированными детализирующими коэффициентами высокочастотных уровней по заданной пороговой процедуре для быстрого дискретного вейвлет-преобразования (ДВП) [5].

В таблице 1 представлены результаты проведенного анализа способов фильтрации ВЧ-помехи в сигнале ЭКГ, приводятся средние значения величин, рассчитанные по результатам 30 моделирований. Процесс моделирования, расчет фильтров и результатов проводился в программе MATLAB 7 32bit, CPU Intel Core i3 2,96 ГГц, ОЗУ 2 Гбайт, NVIDIA GeForce GT220.

Таблица 1 – Результаты измерения качества работы алгоритмов цифровой фильтрации ВЧ-помехи

№	Метод фильтрации	$f_s = 500$ Гц				$f_s = 1000$ Гц			
		$SNR = 10$ дБ		$SNR = 15$ дБ		$SNR = 10$ дБ		$SNR = 15$ дБ	
		$RMSE$	$RRSE$, %	$RMSE$	$RRSE$, %	$RMSE$	$RRSE$, %	$RMSE$	$RRSE$, %
Модель ЭКГ									
1	Фильтр Баттерворта	51.0504	30.45	28.7081	17.12	36.2187	21.39	20.3637	12.03
2	Экспоненциальный фильтр (5)	35.1341	20.95	21.0367	12.55	33.0576	19.52	18.5191	10.94
3	Фильтр скользящего среднего (6)	49.0467	29.25	29.3163	17.48	41.5576	24.54	25.7424	15.20
4	Алгоритм ДПФ	52.0202	31.03	29.2536	17.45	37.5774	22.19	21.1327	12.48
5	Вейвлентная	34.7628	20.73	19.8130	11.82	24.2731	14.33	13.9415	8.23

	фильтрация								
Реальная запись ЭКГ									
1	Фильтр Баттерворта	53.9564	31.68	30.3986	17.85	38.4021	22.32	21.7496	12.64
2	Экспоненциальный фильтр (5)	47.3432	27.80	26.7821	15.73	35.4971	20.63	20.2207	11.75
3	Фильтр скользящего среднего (6)	51.7590	30.39	30.8037	18.09	42.9614	24.97	26.2489	15.26
4	Алгоритм ДПФ	54.9814	32.28	30.9870	18.20	39.8383	23.15	22.5825	13.12
5	Вейвлетная фильтрация	37.5616	22.06	21.8337	12.82	26.8879	15.63	16.1344	9.38

В таблице 1 у экспоненциального фильтра при $f_s = 1000$ Гц постоянный коэффициент $\alpha = 0,585$, а для $f_s = 500$ Гц – $\alpha = 0,768$. В качестве вейвлетной функции используется вейвлет Добеши db5 из MATLAB Wavelet Toolbox. Число уровней декомпозиции ЭКГ определяется исходя из центральной частоты вейвлета db5 и $f_c = 150$ Гц. При этом для шумоподавления используется метод с «мягким» (soft) выбором порога. Исходя из проведенного анализа, оптимальным вариантом для вычисления перемасштабированных коэффициентов будет адаптивный порог на основе алгоритма несмещенной оценки риска Штейна (SURE) [5].

На рисунке 1 показан результат вейвлетной фильтрации с выбранными параметрами реальной записи ЭКГ с искусственно введенной ВЧ-помехой ($f_s = 1000$ Гц, $SNR = 10$ дБ).

В соответствии с данными таблицы 1 вейвлетный метод фильтрации ЭКГ показывает лучшие результаты, среди рассматриваемых. Вместе с этим необходимо понимать, что результаты работы вейвлетной фильтрации ВЧ-помехи сильно зависят от типа вейвлетной функции, выбранного уровня разложения, алгоритма вычисления порога и самой пороговой процедуры.

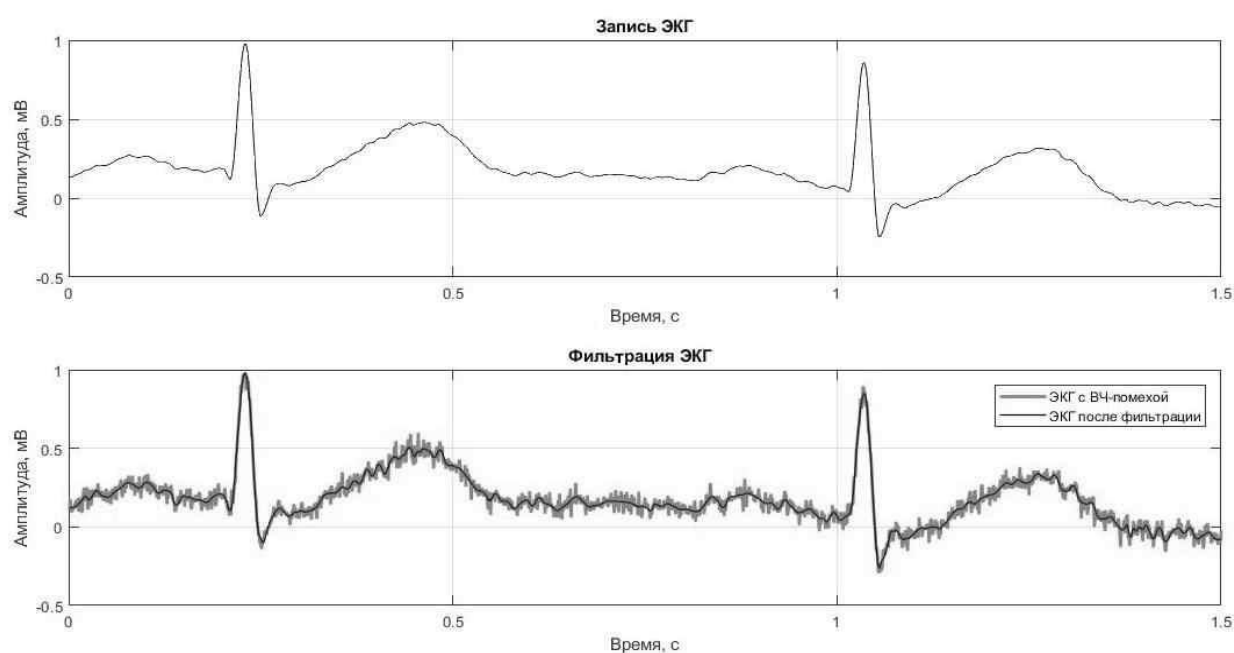


Рисунок 1 – Вейвлетная фильтрация ЭКГ

Следует отметить, что степень подавления ВЧ-помехи можно существенно улучшить, уменьшив верхнюю границу анализируемого частотного диапазона сигнала ЭКГ. Это справедливо для всех рассмотренных алгоритмов при сохранении лучшего результата за вейвлетной фильтрацией. Например, такой подход возможен при проведении исследований вариабельности сердечного ритма, а также предварительных клинических исследованиях ЭКГ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рангайян Р. М. Анализ биомедицинских сигналов. Практический подход/Пер. с англ. под ред. Немирко А.П. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. 440 с.
2. WHO Library Cataloguing-in-Publication Data. Telemedicine: opportunities and developments in Member States: report on the second global survey on eHealth 2009. Global Observatory for eHealth Series, 2.
3. А. А. Савостин и др. Сравнительный анализ алгоритмов устранения низкочастотной помехи электрокардиосигнала. Научно-технический журнал «Измерительная техника» – Москва, 2018. – №7. С. 66-72.
4. Kligfield P. et al. Recommendations for the Standardization and Interpretation of the Electrocardiogram. Part I. AHA/ACC/HRS Scientific Statements. Circulation. 2007. № 115. PP. 1306-1324.
5. Малла С. Вэйвлеты в обработке сигналов: Пер. с англ. – М.: Мир, 2005. – 671 с.

REFERENCES

1. Rangayan RM. Analysis of biomedical signals. Practical approach / Trans. from English by ed. Nemirko A.P. - M.: FIZMATLIT, 2007. 440 p.
2. WHO Library Cataloging-in-Publication Data. Global Observatory for eHealth Series, 2.
3. A. A. Savostin et al. Comparative analysis of algorithms for the elimination of low-frequency electrocardiogram interference. Scientific and technical journal "Measuring equipment" - Moscow, 2018. - №7. Pp. 66-72.
4. Kligfield P. et al. Recommendations for the Standardization and Interpretation of the Electrocardiogram. Part I. AHA / ACC / HRS Scientific Statements. Circulation. 2007. № 115. PP. 1306-1324.
5. Mulla S. Wavelets in signal processing: Trans. from English - M.: Mir, 2005. - 671 p.

**ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАФИЯЛЫҚ ӨЛШЕУЛЕР КЕЗІНДЕГІ ЖОҒАРЫ ЖИЛІКТІ
БҰРМАЛАНУЛАРДЫ БАСУ ӘДІСТЕРІН ТАЛДАУ**

Г.В. Савостина, Д.В. Риттер, С.И. Латыпов

М. Қозыбаев атындағы Солтүстік Қазақстан мемлекеттік университеті

Андатпа: Жұмыста электрокардиограммаларды тіркеу барысында туындайтын жоғары жиілікті кедергілерді басу үшін сигналдарды сандық өңдеудің негізгі әдістерінің салыстырмалы талдауы көрсетілген. Осындай кедергілердің спектрлік құрамына байланысты пайдалы сигналдың түрі қатты бұрмаланады. Осыған байланысты мақалада электрокардиограммаларды төменжиілікті фильтрациялаудың негізгі бар әдістерінің тиімділігін салыстырмалы бағалау жүргізіледі. Бұл үшін имитирленген және рекурсивті емес сандық сүзгілердің (Баттерворт сүзгісі, экспоненталық сүзгі, жылжымалы орташа сүзгі) сүзгілеу сапасы, Фурье спектрінің компоненттерін нөлге келтіру арқылы сигналды алгоритм және симуляцияланған электрокардиограммаларға арналған эксперименттер нәтижесінде алынатын қайта бөлшектеу коэффициенттерімен сигналды қалпына келтіру кезінде толқындық сүзу талданады және нақты жазбалар. Талдау нәтижесі бойынша қарастырылған әдістерді қолдану жөнінде ұсыныстар мен қорытындылар жасалды.

Кілт сөздер: электрокардиограмма, жоғары жиілікті кедергі, сандық фильтрация, орташа квадраттық қателік.

ANALYSIS OF THE METHODS OF SUPPRESSION OF HIGH-FREQUENCY DISTORTIONS AT ELECTROCARDIOGRAPHIC MEASUREMENTS

G.V. Savostina, D.V. Ritter, S.I. Latypov

M.Kozybayev North Kazakhstan State University

Abstract: The paper presents a comparative analysis of the main methods of digital signal processing to suppress high-frequency noise arising in the process of recording electrocardiograms. Due to the spectral composition of such interference, the shape of the useful signal is greatly distorted. In this regard, the article provides a comparative assessment of the effectiveness of the main existing methods of low-frequency filtering of electrocardiograms. For this, data on filtering quality of recursive and non-recursive digital filters (Butterworth filter, exponential filter, moving average filter), filtering algorithm by zeroing the components of the Fourier spectrum and wavelet filtering during signal recovery with re-scaled detailing coefficients obtained as a result of experiments for simulated electrocardiograms are analyzed and real records. According to the results of the analysis, conclusions and recommendations on the application of the considered methods were made.

Keywords: electrocardiogram, high-frequency interference, digital filtering, root-mean-square error.