

DOI: 10.12737/article_5a1c06a488af36.89742441

НОВЫЕ АЛГОРИТМЫ ПОДАВЛЕНИЯ ПОМЕХ В ЭЛЕКТРОКАРДИОСИГНАЛАХ

О.Н. БОДИН¹, В.Г. ПОЛОСИН¹, М.Н. КРАММ²¹*Пензинский государственный университет, ул. Красная, 40, Пенза, Россия, 440026*²*Национальный исследовательский университет "МЭИ", ул. Красноказарменная, 14, Москва, Россия, 111250, e-mail: bodin_o@inbox.ru*

Аннотация. Повышение помехоустойчивости при обработке электрокардиосигналов позволяет повысить достоверность автоматических заключений и, в конечном счёте, способствует повышению качества диагностики и лечения сердечно-сосудистых заболеваний. Статья посвящена новой технологии подавления помех в электрокардиосигналах. Отличительной особенностью предлагаемой технологии является помехоустойчивая обработка и анализ сигналов, оценка эффективности и помехоустойчивости, контроль помех. Представлен новый алгоритм обнаружения *QRS* комплексов в рамках ранговой процедуры *MSM (MaxSubMin)*. Использовался, также алгоритм локально-адаптивной фильтрации для электрокардиосигнала.

Ключевые слова: электрокардиосигнал, подавление помех.

NEW ALGORITHMS FOR SUPPRESSING INTERFERENCE IN ELECTROCARDIOGRAM SIGNALS

O.N. BODIN¹, V.G. POLOSIN¹, M.N. KRAMM²¹*Penza State University, Krasnaya str., 40, Penza, Russia, 440026*²*National Research University «MPEI», Krasnokazarmennaya str., 14, Moscow, Russia, 111250, e-mail: bodin_o@inbox.ru*

Abstract. The increase of noise immunity in the processing of *electrocardiogram* (ECG) makes it possible to increase the reliability of automatic conclusions and, ultimately, improves the quality of diagnosis and treatment of cardiovascular diseases. The article is devoted to a new technology for suppressing interference in ECG signals. A distinctive feature of proposed technology is noise-immune processing and analysis of ECG signals, an estimation of efficiency and noise immunity, interference monitoring in the registered ECG. A new algorithm of detection of QRS complexes in the framework of ranking procedure *MSM (MaxSubMin)* has been presented. The locally adaptive filtering algorithm has been used for electrocardiogram signals.

Key words: electrocardiogram, interference suppression.

Введение. Обеспечение высокой помехоустойчивости динамических систем – одна из основных проблем современной неинвазивной кардиодиагностики. Увеличение уровня внешних электромагнитных помех, повышение степени интеграции электронных компонентов, снижение мощности полезных сигналов приводит к тому, что выделение *электрокардиографию сигнала* (ЭКС) на фоне помех становится сложной структурно-алгоритмической задачей. Особую сложность эта задача приобретает для систем неинвазивной кардиодиагностики, работающих в условиях свободной активности пациента, когда интенсивность и изменчивость помех имеет значительное дезинформационное действие. В этих условиях разработчикам приходится

искать решение задачи повышения помехоустойчивости систем неинвазивной *электрокардиографии* (ЭКГ) – диагностики, как основы обеспечения заданной достоверности автоматических заключений о наличии критических состояний сердца [1-6].

Одним из важнейших требований к системам электрокардиографической диагностики является обеспечение приемлемого качества ЭКС для их автоматической интерпретации. Извлечение диагностической информации из ЭКС представляет собой серьезную научную проблему, что связано с особенностями их происхождения, преобразования и анализа. ЭКС представляют собой нестационарные структурированные сигналы с повторяющимися информатив-

ными участками. Именно по признакам, сосредоточенным на этих участках, в электрокардиографии оценивается состояние сердца. Форма и параметры информативных участков ЭКС разнообразны, изменчивы и не всегда предсказуемы. Кроме того, при регистрации ЭКС неизбежно присутствуют помехи различного вида и происхождения, которые проявляются особенно сильно в условиях свободной активности пациента [6-10].

Не вызывает сомнения, что помехи являются основной причиной снижения достоверности автоматических заключений в системе электрокардиографической диагностики (СЭКГД) [9-16]. Принципиальной особенностью разработки СЭКГД является тот факт, что при регистрации и обработке ЭКС нет полного объема априорных сведений о свойствах сигналов и помех, то есть, имеет место априорная неопределенность *сигнально-помеховой обстановки* (СПО). Такая неопределенность обусловлена нестационарным поведением полезного сигнала и помех и является сейчас объектом изучения в новой *теории хаоса-самоорганизации* (ТХС) [4,18,20-23,25].

Проблема оценки помех. Несмотря на то, что ЭКС обладает некоторой характерной структурой, но модель полезного сигнала обычно бывает неизвестна. В этой связи при создании алгоритмов подавления помех мало подходят методы, основанные на поиске сходства с опорным (модельным) сигналом. В этой ситуации целесообразно строить алгоритм таким образом, чтобы получить информацию о свойствах помехи, а затем использовать эту информацию для создания процедур, обеспечивающих эффективное подавление помех. Поэтому необходимым условием преодоления априорной неопределенности СПО является формирование оценки помехи или обучающей (опорной) помеховой выборки. Оценка помехи может быть использована для выбора соответствующего фильтра и/или для изменения его настроечного параметра, а также для определения порогов обнаружения элементов ЭКС [3,14-17,19].

Наиболее информативная и удобная для формирования оценка помехи в отсутствие полезного сигнала может быть оценка, которая базируется на следующих утверждениях. Структура ЭКС и современные алгоритмы обработки сигналов в большинстве случаев позволяют разделить сигнал на информативные и неинформативные временные участки даже при наличии интенсивных помех. Выделение неинформативного участка ЭКС, на котором присутствует только помеха, позволяет сформировать оценку помехи в отсутствие полезного сигнала и использовать эту оценку для повышения эффективности помехоподавления. При этом, сказывается также статистическая неустойчивость ЭКС, что доказывается в новой ТХС [17,20-25].

Особое место во временной обработке ЭКС занимают процедуры сегментации – разделение сигнала на временные участки с близкими свойствами, обнаружение и выделение информативных или наоборот неинформативных участков. Именно сегментация дает предпосылки формирования оценки помехи в отсутствие полезного сигнала. Основой сегментации являются процедуры обнаружения *QRS* комплексов на фоне помех. Эта процедура имеет ключевое значение для разработки алгоритмов анализа ЭКС в целом. Пример сегментации фрагмента ЭКС показан на рисунке 1.

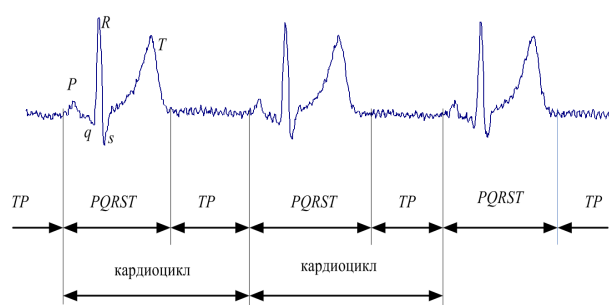


Рис. 1. Результат сегментации фрагмента ЭКС

Таким образом, для реализации технологии подавления помех в ЭКС необходимо разработать алгоритм обнаружения *QRS* комплексов, алгоритм сегментации ЭКС, алгоритм локально адаптивной фильтрации, алгоритм реконструкции дрейфа изолинии. Рассмотрим основной алгоритм обнаружения *QRS* комплексов.

Новый алгоритм обнаружения QRS комплексов основан на ранговой процедуре *MSM* (*MaxSubMin*), выполняемой в скользящем окне. Процедура *MSM* заключается в выполнении трех последовательных операций: нахождение максимального значения отсчета в скользящем окне размером $2s+1$, нахождение минимального значения отсчета в скользящем окне размером $2s+1$, вычитание минимального значения из максимального. Формально процедура *MSM* записывается следующим образом:

$$y_{\max}(t) = \max(x(t-s), x(t-s+1), \dots, x(t-1), x(t), x(t+1))$$

$$y_{\min}(t) = \min(x(t-s), x(t-s+1), \dots, x(t-1), x(t), x(t+1))$$

$$MSM(t) = y_{\max}(t) - y_{\min}(t).$$

Новый алгоритм *MSM* обладает рядом полезных свойств, позволяющих использовать ее для обнаружения *QRS* комплексов ЭКС:

- на выходе процедуры, независимо от формы *QRS* комплексов, формируются только положительные импульсы;

- процедура обладает фильтрующими свойствами, зависящими от размеров окна, поэтому предварительная обработка ЭКС не обязательна;

- интегрирование в скользящем окне сигнала с выхода процедуры *MSM* позволяет получить положительный моноимпульс, соответствующий *QRS* комплексу ЭКС.

На рис. 2 показаны примеры формирования моноимпульсного сигнала процедурой *MSM* с последующим интегрированием в скользящем окне (сплошная линия – входной ЭКС, пунктирная – моноимпульсный сигнал). Во всех четырех случаях (ЭКС с высокоамплитудным *T* зубцом, ЭКС с дрейфом изолинии, ЭКС с артефактами движения, ЭКС с отрицательными *QRS* комплексами) моноимпульсный сигнал позволяет однозначно обнаружить *QRS* комплексы.

Таким образом, *MSM* алгоритм обнаружения *QRS* комплексов заключается в выполнении следующих действий:

- процедура *MSM* в скользящем окне;

- интегрирование сигнала с выхода *MSM* в скользящем окне;

- сравнение результата с порогом и поиск максимума моноимпульса в зоне превышения порога.

Для примеров на рис. 2 размер окна процедуры *MSM* составляет 11 отсчетов ($s=5$), размер окна интегрирования 21 отсчет (для частоты дискретизации ЭКС $f_d=500$ отсчетов в секунду).

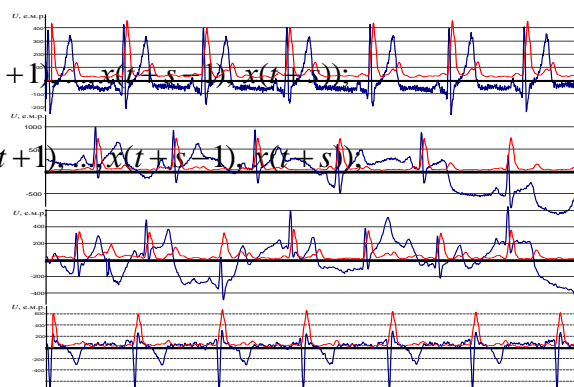


Рис. 2. Формирование моноимпульсов на основе процедуры *MSM*

Тестирование разработанного алгоритма обнаружения на сигналах из *MIT-BIH Arrhythmia Database* показало, что вероятность правильного обнаружения *QRS* комплексов ЭКС (чувствительность) даже без предварительной фильтрации составляет 0,97-0,98. Применение перед процедурой *MSM* «жесткой» фильтрации с полосой пропускания 2-30 Гц и введение адаптивного порога повышает вероятность правильного обнаружения *QRS* комплексов до 0,99 (при тестировании на тех же сигналах).

Алгоритм локально-адаптивной фильтрации. Выделение информативных комплексов и зубцов ЭКС позволяет выделить неинформативный участок ЭКС и реализовать алгоритм локально-адаптивной фильтрации заключающийся в формировании оценки помехи, выборе фильтра для локального участка в соответствии с заданным критерием эффективности, фильтрации этого участка, восстановлению ЭКС [15].

Формирование оценки помехи заключается в определении степени отклонения распределения отсчетов помеховой выборки от гауссового закона распределения.

Критерием отклонения распределения отсчетов помеховой выборки от гауссового закона распределения используется *робастный коэффициент эксцесса* (РКЭ) [2]: $k_R = (X_{75} - X_{25}) / (2(X_{90} - X_{10}))$, где X_w обозначает w -й процентиль выборки.

Для помеховой выборки в 100 отсчетов процентили могут быть заменены соответствующими порядковыми статистиками отсчетов в выборке:

$$k_R = (R_{1-100}^{75} - R_{1-100}^{25}) / (2(R_{1-100}^{90} - R_{1-100}^{10})), \quad (1)$$

где R_{1-100}^w – w -я порядковая статистика исследуемой выборки из 100 отсчетов (значение w -го отсчета в ранжированном ряду). Помеховая выборка в 100 отсчетов (при частоте дискретизации ЭКС $f_d=500$ отсч./с) составляет 200 мс, что не превышает реальную длительность TP сегмента.

Получены значения k_R для различных моделей помех в соответствии с (1). Для помеховых выборок с гауссовым распределением, k_R примерно равно 0,26. Для выборок, имеющих распределения с «тяжелыми хвостами» (*heavy-tailed distribution*), робастный коэффициент эксцесса уменьшается. Достаточное отличие значений k_R для различных моделей позволяет соотнести исследуемую помеху с одной из моделей.

При выборе фильтра бесконечное множество СПО делят на несколько подмножеств, для каждого из которых заранее подбирается фильтр, в соответствии с критерием эффективности для этого локального участка. Восстановление ЭКС осуществляется путем присоединения нового обработанного участком ЭКС к предшествующему участку с учетом граничных условий.

Структура подсистемы подавления помех. Используя разработанные алгоритмы, была создана подсистема подавления помех для системы ЭКГ диагностики [7-15]. Общий вид этой системы представлен на рис. 3 (с учетом ряда дополнений).

Для реализации операций, выполняющих выделение опорных точек, оценку и вычитание НЧ помехи, в структурную схему (рис. 3) добавлены следующие узлы: формирования опорных точек, реконструк-

ции дрейфа изолинии, компенсации дрейфа изолинии. Полученная структура подсистемы подавления помех на основе ААФ приведена на рис. 3 [3-9].

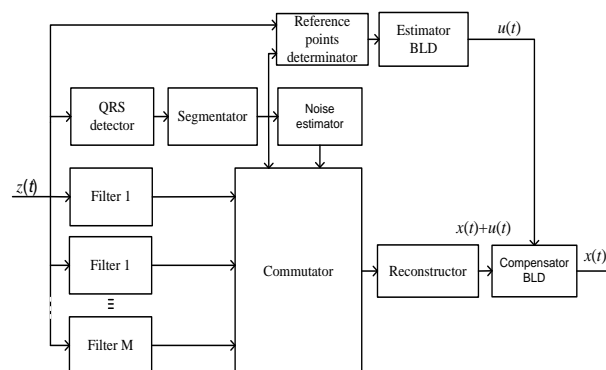


Рис. 3. Структура подсистемы подавления помех

Узел формирования опорных точек позволяет выделить как минимум одну точку на каждом TP сегменте. По найденным опорным точкам реконструируется дрейф изолинии, который вычитается из сигнала с выхода узла восстановления ЭКС. Реконструкция дрейфа изолинии по опорным точкам на TP сегменте может быть выполнена на основе построения аппроксимирующих полиномов (сплайнов), описывающих дрейф изолинии с определенной погрешностью, или на основе построения в каждой опорной точке специальных импульсов с последующей фильтрацией этих импульсных последовательностей.

Заключение. Разработанная подсистема подавления помех, иллюстрирует новую технологию помехоустойчивой обработки ЭКС, программная реализация подобной подсистемы обладает невысокой вычислительной сложностью и может функционировать в реальном времени. Существенно, что данный подход обеспечивает понижение степени статистической неопределенности, которая сейчас изучается в виде эффекта Еськова-Зинченко [17,19-25].

Литература

1. Бодин О.Н., Иванчуков А.Г., Полосин В.Г., Петровский М.А. Концепция диагностики состояния сердца в условиях свободной двигательной активности // Современ-

менные проблемы науки и образования. 2014. № 6.

2. Бодин О.Н., Кривоногов Л.Ю., Ломтев Е.А., Ожигенов К.А. Помехоустойчивая обработка электрокардиосигналов в системах неинвазивной кардиодиагностики: моногр. / Алматы : Изд-во LEM, 2016. 216 с.

3. Бодин О.Н., Кривоногов Л.Ю., Иванчуков А.Г., Петровский М.А. Беспроводная система электрокардиомониторинга как альтернатива холтеровским мониторам. Материалы 14-го конгресса Российского общества холтеровского мониторирования и неинвазивной электрофизиологии (РОХ-МиНЭ), 6-го Всероссийского конгресса «Клиническая электрокардиология», 11-12 сентября 2013 г. Иркутск. С. 58-59.

4. Зилов В.Г., Хадарцев А.А., Еськов В.В., Еськов В.М. Экспериментальные исследования статистической устойчивости выборок кардиоинтервалов // Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. 2017. Т. 164. № 8. С. 136-139.

5. Кривоногов Л. Ю. Методы и алгоритмы помехоустойчивой обработки электрокардиографической информации: Дис. ... кан. техн. наук: 05.13.01. Пенза, 2003. 228 с.

6. Кривоногов Л.Ю., Иванчуков А.Г. Алгоритмы подавления помех для систем электрокардиодиагностики в условиях двигательной активности // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 2; URL: <http://www.science-education.ru/129-21873> (дата обращения: 29.09.2015).

7. Кривоногов Л.Ю., Папшев Д.В. Совершенствование алгоритмов помехоустойчивой обработки электрокардиосигналов // Биотехносфера. 2015. № 3 (39). С. 13-19.

8. Патент 2410023 РФ. Способ выделения QRS комплекса электрокардиосигнала / О.Н. Бодин, О.А. Зайцева, Д.С. Логинов, Л.Ю. Кривоногов, Ф.К. Рахматуллов. Оpubл. 27.01.2011. Бюлл. № 3.

9. Патент 2440022 РФ. Способ подавления шумов в электрокардиосигнале / О.Н. Бодин, Л.Ю. Кривоногов, А.Ю. Тычков, П.П. Чураков. Оpubл. 20.01.2012. Бюлл. №2.

10. Патент 2486862 РФ. Способ адаптивного подавления помех в электрокардиосигнале / О.Н. Бодин, В.И. Волчихин, Л.Ю. Кривоногов, А.Ю. Тычков, П.П. Чураков, В.А. Шурыгин. Оpubл. 10.07.2013. Бюлл. № 19.

11. Патент 2540528 РФ. Устройство для регистрации электрокардиосигналов в условиях свободной двигательной активности / О.Н. Бодин, Л.Ю. Кривоногов, Ф.К. Рахматуллов и др. Оpubл. 10.02.2015. Бюлл. № 4.

12. Патент 2567271 РФ. Способ экспресс-оценки электрической стабильности сердца / О.Н. Бодин, Л.Ю. Кривоногов, Ф.К. Рахматуллов и др. Оpubл. 10.11.2015. Бюлл. № 31.

13. Патент 2568817 РФ. Способ адаптивной фильтрации электрокардиосигнала / О.Н. Бодин, Л.Ю. Кривоногов, В.Л. Кривоногов, Ф.К. Рахматуллов. Оpubл. 20.11.2015. Бюлл. № 32.

14. Петровский М.А., Бодин О.Н., Кривоногов Л.Ю., Иванчуков А.Г. Портативный ЭКГ-датчик компьютерной диагностической системы «Кардиовид» // Современные проблемы науки и образования (электронный научный журнал). 2014. № 4; URL: www.science-education.ru/118-14104 (дата обращения: 25.10.2014).

15. Полосин В.Г. Коррекция дрейфа изолинии при цифровой обработке электрокардиосигнала / Полосин В.Г., Бодин О.Н., Иванчуков А.Г., Рахматуллов Ф.К. // Медицинская техника. 2016. № 2. С. 33-36.

16. Abreu E., Mitra S.K. A Signal-Dependent Rank Ordered Mean (SD-ROM) Filter-A New Approach For Removal Of Impulses From Highly Corrupted Images. ICASSP-95. 1995. Vol. 4. Pp. 2371-2374.

17. Ambulatory cardiac monitoring: Avoiding maturity through technological advancement. – Market engineering research. Frost & Sullivan, Meriland. 2008. 9. P. 325

18. Betelin V.B., Eskov V.M., Galkin V.A. and Gavrilenko T.V. Stochastic Volatility in the Dynamics of Complex Homeostatic Systems // Doklady Mathematics. 2017. Vol. 95. №. 1. Pp. 92-94.

19. Clifford G. D., Azuaje F, McSharr P. E. *Advanced Methods and Tools for ECG Data Analysis*. Artech House, Inc. 2006.

20. Eskov V.V., Gavrilenko T.V., Eskov V.M., Vochmina Yu.V. *Static Instability Phenomenon in Type-Three Secretion Systems: Complexity* // *Technical Physics*. 2017. Vol. 62. №. 11. Pp. 1611-1616.

21. Eskov V.M., Bazhenova A.E., Vochmina U.V., Filatov M.A., Ilyashenko L.K. N.A. *Bernstein hypothesis in the Description of chaotic dynamics of involuntary movements of person* // *Russian Journal of Biomechanics*. 2017. Vol. 21. №. 1. Pp. 14-23.

22. Eskov V.M., Filatova O.E., Eskov V.V. and Gavrilenko T.V. *The Evolution of the Idea of Homeostasis: Determinism, Stochastics and Chaos–Self-Organization* // *Biophysics*. 2017. Vol. 62. No. 5. Pp 809-820.

23. Filatova O.E., Eskov V.V., Filatov M.A., Ilyashenko L.K. *Statistical instability phenomenon and evaluation of voluntary and involuntary movements* // *Russian Journal of Biomechanics*. 2017. Vol. 21. No. 3. Pp. 224-232.

24. Wichman R., Astola J., Heinonen P., Neuvo Y. *FIR-Median Hybrid Filter with Excellent Transient Response in Noisy Conditions* / *IEEE Trans. Acoust. Speech Signal Process*. 1990. Vol. 38. № 12. Pp. 2108-2116.

25. Zilov V.G., Eskov V.M., Khadartsev A.A., Eskov V.V. *Experimental confirmation of the effect of "Repetition without repetition" N.A. Bernstein* // *Bulletin of experimental biology and medicine*. 2017. Vol. 1. Pp. 4-8.

Reference

1. Bodin O.N., Ivanchukov A.G., Polosin V.G., Petrovskii M.A. *Kontsepsiya diagnostiki sostoyaniya serdtsa v usloviyakh svobodnoi dvigatel'noi aktivnosti* // *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. 2014. № 6.

2. Bodin O.N., Krivonogov L.Yu., Lomtev E.A., Ozhikenov K.A. *Pomekhoustoichivaya obrabotka elektrokardiosignalov v siste-makh neinvazivnoi kardiagnostiki: mo-nogr.* / *Almaty: Izd-vo LEM*, 2016. 216 s.

3. Bodin O.N., Krivonogov L.Yu., Ivanchukov A.G., Petrovskii M.A. *Be-sprovodnaya sistema elektrokardiomonitoringa kak al'ternativa kholterovskim monitoram*. *Materialy 14-go kongressa Rossiiskogo obshchestva kholterovskogo monitorirovaniya i neinvazivnoi elektrofiziologii (ROKh-MiNE), 6-go Vserossiiskogo kongressa «Klinicheskaya elektrokardiologiya»*, 11-12 sentyabrya 2013 g. Irkutsk. S. 58-59.

4. Zilov V.G., Khadartsev A.A., Es'kov V.V., Es'kov V.M. *Eksperimental'nye issledovaniya statisticheskoi ustoichivosti vybo-rok kardiointervalov* // *Byulleten' eksperimental'noi biologii i meditsiny*. 2017. T. 164. № 8. S. 136-139.

5. Krivonogov L. Yu. *Metody i algoritmy pomekhoustoichivoi obrabotki elektrokardiograficheskoi informatsii: Dis. ... kan. tekhn. nauk: 05.13.01. Penza, 2003. 228 s.*

6. Krivonogov L.Yu., Ivanchukov A.G. *Algoritmy podavleniya pomekh dlya sistem elektrokardiagnostiki v usloviyakh dvigatel'noi aktivnosti* // *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. 2015. № 2; URL: <http://www.science-education.ru/129-21873> (data obrashcheniya: 29.09.2015).

7. Krivonogov L.Yu., Papshev D.V. *Sover-shenstvovanie algoritmov pomekhoustoichi-voi obrabotki elektrokardiosignalov* // *Biotekhnosfera*. 2015. № 3 (39). S. 13-19.

8. Patent 2410023 RF. *Sposob vydeleniya QRS kompleksa elektrokardiosignala* / O.N. Bodin, O.A. Zaitseva, D.S. Loginov, L.Yu. Krivonogov, F.K. Rakhmatullov. *Opubl.* 27.01.2011. *Byull.* № 3.

9. Patent 2440022 RF. *Sposob podavleniya шумов v elektrokardiosignale* / O.N. Bodin, L.Yu. Krivonogov, A.Yu. Tychkov, P.P. Churakov. *Opubl.* 20.01.2012. *Byull.* № 2.

10. Patent 2486862 RF. *Sposob adaptivnogo podavleniya pomekh v elektrokardiosignale* / O.N. Bodin, V.I. Volchikhin, L.Yu. Krivonogov, A.Yu. Tychkov, P.P. Churakov, V.A. Shurygin. *Opubl.* 10.07.2013. *Byull.* № 19.

11. Patent 2540528 RF. *Ustroistvo dlya registratsii elektrokardiosignalov v uslo-viyakh svobodnoi dvigatel'noi aktivnosti* / O.N.

Bodin, L.Yu. Krivonogov, F.K. Rakhmatullov i dr. Opubl. 10.02.2015. Byul. № 4.

12. Patent 2567271 RF Sposob ekspressotsenki elektricheskoi stabil'nosti serdtsa / O.N. Bodin, L.Yu. Krivonogov, F.K. Rakhmatullov i dr. Opubl. 10.11.2015. Byul. № 31.

13. Patent 2568817 RF. Sposob adaptivnoi fil'tratsii elek-trokardiosignala / O.N. Bodin, L.Yu. Krivonogov, V.L. Krivonogov, F.K. Rakhmatullov. Opubl. 20.11.2015. Byul. № 32.

14. Petrovskii M.A., Bodin O.N., Krivonogov L.Yu., Ivanchukov A.G. Portativnyi EKG-datchik komp'yuternoi diagnosticheskoi sistemy «Kardiovid» // Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya (elektronnyi nauchnyi zhurnal). 2014. № 4; URL: www.science-education.ru/118-14104 (data obrashcheniya: 25.10.2014).

15. Polosin V.G. Korrektsiya dreifa izolirui pri tsifrovoi obrabotke elektrokardiosignala / Polosin V.G., Bodin O.N., Ivanchukov A.G., Rakhmatullov F.K. // Meditsinskaya tekhnika. 2016. № 2. S. 33-36.

16. Abreu E., Mitra S.K. A Signal-Dependent Rank Ordered Mean (SD-ROM) Filter-A New Approach For Removal Of Impulses From Highly Corrupted Images. ICASSP-95. 1995. Vol. 4. Pp. 2371-2374.

17. Ambulatory cardiac monitoring: Avoiding maturity through technological advancement. – Market engineering research. Frost & Sullivan, Meriland. 2008. 9. P. 325

18. Betelin V.B., Eskov V.M., Galkin V.A. and Gavrilenko T.V. Stochastic Volatility in the Dynamics of Complex Homeostatic Systems // Doklady Mathematics. 2017. Vol. 95. № 1. Pp. 92-94.

19. Clifford G. D., Azuaje F, McSharr P. E. Advanced Methods and Tools for ECG Data Analysis. Artech House, Inc. 2006.

20. Eskov V.V., Gavrilenko T.V., Eskov V.M., Vochmina Yu.V. Static Instability Phenomenon in Type-Three Secretion Systems: Complexity // Technical Physics. 2017. Vol. 62. № 11. Pp. 1611-1616.

21. Eskov V.M., Bazhenova A.E., Vochmina U.V., Filatov M.A., Ilyashenko L.K. N.A. Bernstein hypothesis in the Description of chaotic dynamics of involuntary movements

of person // Russian Journal of Biomechanics. 2017. Vol. 21. № 1. Pp. 14-23.

22. Eskov V.M., Filatova O.E., Eskov V.V. and Gavrilenko T.V. The Evolution of the Idea of Homeostasis: Determinism, Stochastics and Chaos-Self-Organization // Biophysics. 2017. Vol. 62. No. 5. Pp 809-820.

23. Filatova O.E., Eskov V.V., Filatov M.A., Ilyashenko L.K. Statistical instability phenomenon and evaluation of voluntary and involuntary movements // Russian Journal of Biomechanics. 2017. Vol. 21. No. 3. Pp. 224-232.

24. Wichman R., Astola J., Heinonen P., Neuvo Y. FIR-Median Hybrid Filter with Excellent Transient Response in Noisy Conditions / IEEE Trans. Acoust. Speech Signal Process. 1990. Vol. 38. № 12. Pp. 2108-2116.

25. Zilov V.G., Eskov V.M., Khadartsev A.A., Eskov V.V. Experimental confirmation of the effect of "Repetition without repetition" N.A. Bernstein // Bulletin of experimental biology and medicine. 2017. Vol. 1. Pp. 4-8.