

Copyright © 2019 by Academic Publishing House Researcher s.r.o.



Published in the Slovak Republic
European Journal of Medicine. Series B
Has been issued since 2014.
E-ISSN: 2413-7464
2019, 6(1): 11-40

DOI: 10.13187/ejm.s.b.2019.1.11
www.ejournal27.com



Psophometric and Deviometric Approaches for Filtered ECG Analysis

Eugene D. Adamovich ^a

^a Moscow Pedagogical State University, Moscow, Russian Federation

Abstract

The article considers the novel method for ECG spectral analysis based on psophometric and spectral deviometric devices or algorithms. This article is the reply for previously published article «Correction of the recording artifacts and detection of the functional deviations in ECG by means of syndrome decoding with an automatic burst error correction of the cyclic codes using periodograms for determination of code component spectral range. Part II: Old mathematics for the novel applied problems of cardiometry».

Keywords: psophometer, deviometer, ECG, signal filtration.

1. Введение

По классическому инженерному определению, психофотметрический шум представляет «шум прибора, измеренный при характеристике измерителя, близкой к чувствительности человеческого уха». В совокупности «психофотметрический шум это наведенные напряжения и помехи в линии». «В это понятие попал бы и естественный электромагнитный фон Земли, если бы не было соответствующих ограничений». «Поэтому психофотметрическое напряжение шума нормируется. Эти нормы зависят от уровня передаваемого сигнала и определяются допустимым соотношением между напряжением шума и напряжением полезного сигнала». В случае отсутствия нормирования, *sensu lato*, значение термина определяется диапазонами помех, не обязательно относимых к помехам передачи речевых сигналов. Ограничения этого экстраполянта связаны только с техническими возможностями измерения психофотметров как измерительных схем. Возможность их использования ограничена акустическим диапазоном частот. Поэтому любой канал передачи данных акустической (звуковой) частоты может, при известной адаптации техники фильтрации (в идеале – согласованной фильтрации) шума, по определению, быть психофотметрируемым. Для измерения шумов в каналах связи определяют психофотметрическое напряжение шума, причём последнее (на нагрузочном сопротивлении), по определению, равно половине психофотметрической электродвижущей силе шума. Обычно, если речь идёт не о тестовом сигнале, а о реальном сигнале с множеством спектральных или формантных компонент, психофотметрическое напряжение шума – «акустическое воздействие напряжений отдельных составляющих, зависящее от частоты»; то есть измерения должны, в большинстве случаев вестись в спектральном формате – в координатах «параметр/частота» или «параметр/длина волны». В роли параметра может выступать не только напряжение в канале по шуму/помехам или половина электродвижущей силы шума/помех, но и другие, производные по отношению к ним, параметры. Логично говорить о фазовой психофотметрии (в случае использования фазовой ординаты и частотной оси абсцисс), энергетической (или же мощностной) спектропсихофотметрии (в случае измерения PSD – Power Spectrum Density), либо магнитудной и амплитудной психофотметрии и спектропсихофотметрии, если речь идёт об анализе в

координатах магнитуды и амплитуды, соответственно. Измерение в канале, подверженном влиянию помех, оснащённом включенной с двух сторон согласованной нагрузкой, является характеристикой, вычисляемой через модуль волнового сопротивления канала. В каналах, в рамках существующих стандартов, анализируют и нормируют: полосы эффективных частот, амплитудные характеристики АЧХ, среднеквадратичное отклонение остаточного затухания, входное сопротивление (в идеале – спектр импеданса), асимметрия затухания или затухание с учетом асимметрии, помехозащищенность, межканальные интерференции/помехи (cross-talk-s), усредненное психофотметрическое напряжение, девиация частоты, относительное (либо абсолютное – при спектроскопии по многим частотам) групповое время запаздывания, фаза (относительно референсной)/девиация фазы /фазовое запаздывание/десинхронизация/декогеренция. При экстраполяции принципов психофотметрии на неречевые и неформантные, в общем случае, сигналы, можно полагать, физически бессмысленно измерять параметры на стандартных нормированных частотах (пример – 800 Гц) при стандартных сопротивлениях (не равных 600 Ом). Психофотметрический шум за рубежом называют C-message weighted noise по причине взвешенных, соотносимых характеристик измерения. Аналогично, фильтры для измерения шума (психофотметрические фильтры), устанавливаемые в приборах–психофотметрах, являются взвешивающими согласованными фильтрами (согласованными, по определению, с чувствительностью человеческого уха) и называются C-message filter (Невдяев, 2002). Этот, как правило, неэффективный способ согласования, привязан по нулькалибровочной кривой к мощности контрольного шума 1 пВт на 1 кГц (это не соответствует аудиологии как сложной «спектральной», по определению, дисциплине). Очевидно, что в случае психофотметрии *sensu lato* от таких условных ограничений следует отказаться.

История психофотметрии, начиная с 1930-х гг. (Harbottle, 1938), демонстрирует развитие в двух направлениях, что явилось причиной дискуссии, начатой 80 лет назад (Davis, Harbottle, 1938). При вариативности типов и принципов организации устройств, в которых измерялся шум (поскольку термины «circuit noise-meter» и «psophometer» были эквивалентны до 1950-х гг.), требование объективности измерений (то есть – согласования со всеми типами схем), в принципе, было невыполнимо, хотя и позиционировалось, что психофотметр – «objective noise-meter for the measurement of moderate and loud, steady and impulsive noises». По спектрам или АФЧХ проверить уровень объективности, особенно – за гранью человеческого акустического (слышимого) диапазона, в принципе, не представлялось возможным. Только достижения по имплементации различных типов шумовой спектроскопии, а в недавнем времени, особенно, фликкер-шумовой спектроскопии (Deescherevsky et al., 2003; Timashev and Vstovskii, 2003; Timashev, 2006; Timashev and Polyakov, 2008; Timashev et al., 2008, 2009), позволили весьма обоснованно говорить о спектральном согласовании с различными по причинам генерации, а также откликам на них физических систем, шумов. Сложнее – с т.н. помехами, условно, по факту искажения сигнала акустической передачи, относимыми к шумам, но, по физическим пререквизитам, ими не являющимися. Гармонические/нелинейные искажения и отличные по физике интермодуляционные искажения/интерференции, как правило, расцениваются как помехи и шумы, но работающий согласованно только по шумам анализатор воспринять, в принципе объективно, их не может, хотя они вносят вклад в суммарное психофотметрическое распределение (Kiss, Dán, 2007). Поскольку эти эффекты являются следствием совместного, не редуцируемого до одиночных компонент, действия множества физических объектов/тел на тракте передачи (Coccia et al., 2003), чтобы согласованно элиминировать их, необходимы многозвенные трансформаторы сигнала на тракте и интерлейсинговые методы элиминации. Поэтому, «чтобы не мучиться», со второй половины XX века применяют субъективные, а не объективные методы психофотметрического шумоподавления и интерпретации шума вообще как предмета психофотметрического анализа и процессинга сигнала (Wilms, 1970). Идеология фильтрации вторичных токов многокатушечными трансформаторами, с позиций аналитики отклика LCR, набирает силу с начала 2000-х гг. (Coccia et al., 2004), позволяя реализовать, в идеале, фильтрацию компонент, соответствующих по числу и номенклатуре номенклатуре и числу спектрально-сепарируемых катушек в LCR-цепях. Однако лимитирование развития и модернизации психофотметрической техники регулируется не физическими возможностями (в избытке представленными в виде имплементированных в железе устройств,

существующих на рынке), а задачами классической и регулируемой конвенционными стандартами системы психофотметрических измерений. Начиная с 1970-х гг измерения психофотметрических шумов (по напряжениям или в логарифмических единицах – децибелах) ведутся на аудиоустройствах и устройствах акустической частоты (Hertz, 1977), практически не выходя ни в инфразвуковой, ни в ультразвуковой диапазон, а также не подходя к степени точной формализации, которая существует, в частности, в технике обработки и анализа радиолокационных сигналов и СВЧ-измерений. Современные практики дефинирования психофотметрии и психофотметров (пример – в «Computer Science and Communications Dictionary» (Weik, 2001)) не способствуют подобной точной формализации и апеллированию к более развернутому математическому аппарату, в частности – к теории согласованной фильтрации. Поэтому, для дефинирования психофотметра как системы универсальной фильтрации целесообразно вернуться на стадию более слабого и не детерминирующего регулирования психофотметрических процедур, вернувшись в историю психофотметрии в начало 1970-х гг., когда большая часть существующих регламентов не была в силе. И так, если говорить о начале 1970-х гг., то крупнейшей проблемой было не различение частот в пользу адаптированного спектра под кривую чувствительности человеческого слуха, а разделение субъективных и объективных методов и критерием анализа зашумленности, в принципе, в начавших возникать стандартах психофотметрии. Весьма немалый резонанс в своё время вызвала полемическая, однако весьма физическая статья «Subjective or Psophometric Audio Noise Measurement: A Review of Standards» (Smith, 1970). Субъективная психофотметрия, в основе своей, базируется на оптимизации устройств и трактов трансляции сигнала к задачам телефонии* (Dudziwicz, 1977). Более объективным и человеконезависимым, однако в целом связанным с модуляционными проблемами кодирования сигнала и, следовательно, в целом не исчерпывающим направлением психофотметрии является телеграфическая психофотметрия на «аналоговых» линиях (Korol, 1973). Более гибким в потенциале направлением является, как и следовало ожидать, цифровая психофотметрия, позволяющая без привязки к «железу» иметь возможности анализа при любых типах модуляции и цифровой фильтрации сигнала, но при этом её возможности ограничены дискретизацией оцифровки сигнала и битрейтом записи в память ЭВМ (Cavaliere et al., 1981). Поэтому мы сосредоточимся на цифровой психофотметрии в электрокардиографии, где, в силу отсутствия высокочастотных (ВЧ) / сверхвысокочастотных (СВЧ) компонент достаточно использование низкочастотных (НЧ) АЦП (аналого-цифровых преобразователей) с достаточно посредственными характеристиками по частоте и битности. Отметим, что по регулярности сигнала это может быть более близко не к радиофизической/радиотехнической психофотметрии как психофотметрии случайных процессов, а к психофотметрии на трактах регистрации циклических или квазирегулярных процессов – например в двигателях и на пантографах локомотивов (Москалев, 2010; Chao, 1992).

Фотографии стандартных распространенных массовых моделей психофотметров общего назначения приводятся в Таблице 1. Технические характеристики одного из наиболее новых и прогрессивных приборов приводятся в Таблице 2.

Таблица 1. Стандартные модели психофотметров, использовавшихся в метрологии 80-х гг.



* См. также: Recommendation C. 0.41: 'Psophometer for use on telephone-type circuits'. – 1988. Recommendation, C. C. I. T. T. (1988). *International Telecommunication Union, Geneva.*

Псофометр ELEKTRONIKA EPS 86.

(Взвешенное и невзвешенное измерение шума; псофометрический фильтр для контроля линий передачи телефонной связи и вещания; Возможность взвешивания подключением внешнего фильтра; Режим работы измерительного усилителя; Возможность подключения регистратора уровня.



Псофометр 12 XN 085 (TESLA, Чехословакия)



Псофометр 12XN047



Псофометр GSM 2 (RFT)



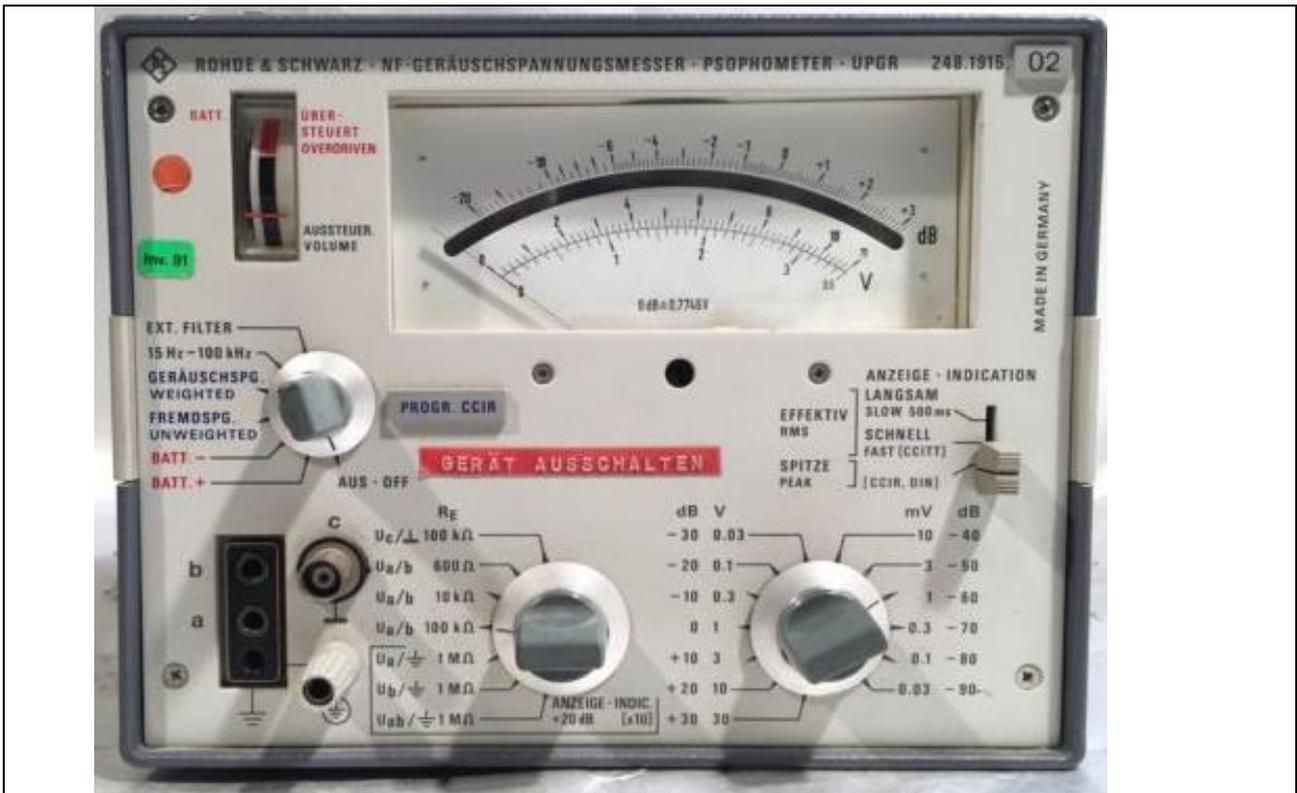
Digital Psophometer Model 1072



HEWLETT PACKARD: Psophometer/Level Meter Model 3556A



STANDARD TELEPHONES AND CABLES LIMITED: Psophometer 74142

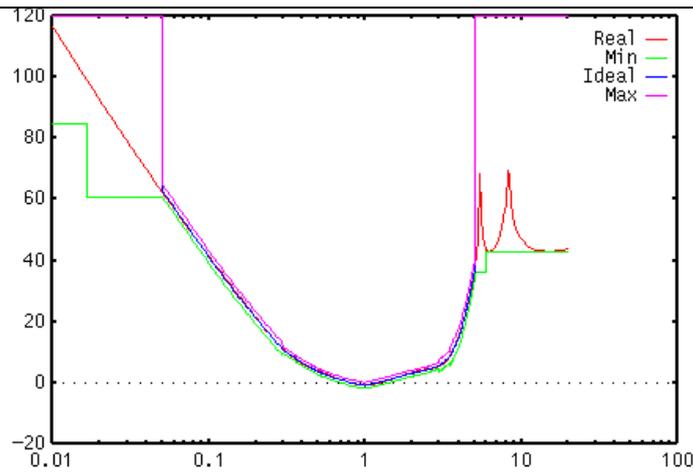


Псофометр Rohde & Shwarz UPCR 248.1915

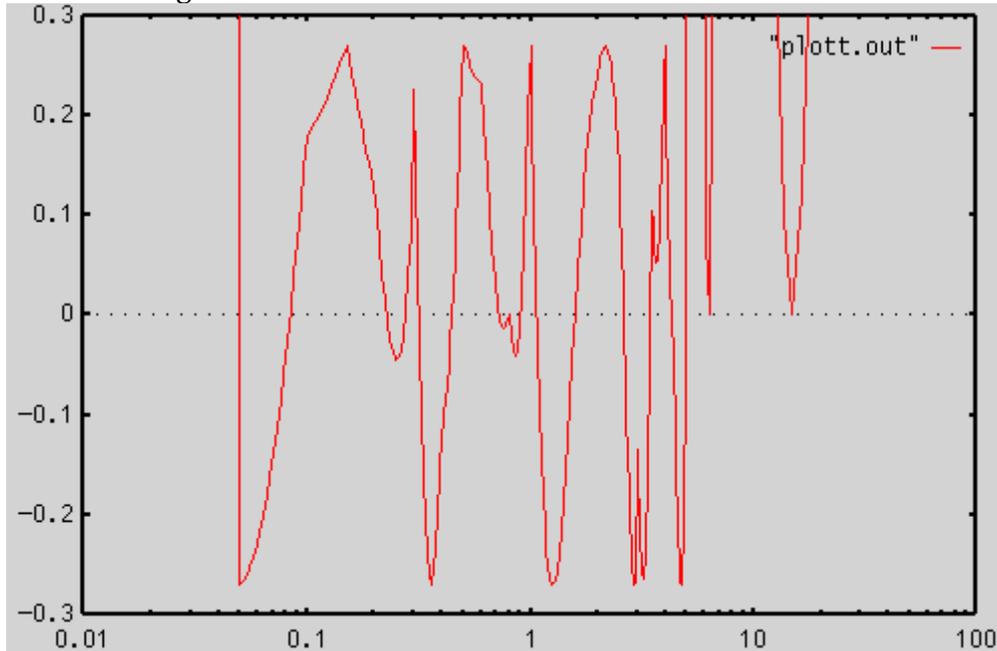
DEWESoft® Products Applications Support About us Careers Training EN

Psophometer plugin now available for Dewesoft software





The next image shows the normalized error curve



Psophometer Filter: Result of an attenuation approximation with many different weights
«Софтовые» псофометры типа плагинов DEWE

Таблица 2. Технические данные EPS 86

Параметры	Значения
Диапазон частот	от 15 Гц до 50 кГц
Диапазон напряжений (при предельном отклонении)	- при полном входном сопротивлении 600 Ом или 10 кОм ... от 30 мкВ до 10 В (от -90 дБ до +20 дБ) в 12-и дискретных поддиапазонах - при полном входном сопротивлении 10 кОм ... от 1 мВ до 300 В (от -60 дБ до +50 дБ) в 12-и дискретных поддиапазонах - наименьшее значение отсчитываемого напряжения ... ~3 мкВ (-110 дБ)
Калибровочная частота	1 кГц

Погрешности измерения	
Основная погрешность при эталонных условиях (согласно Публикации 359 МЭК) на пределе измерения 0 дБ, при отклонении до деления 0 дБ шкалы:	
-на входе 600 Ом при частоте 1 кГц после калибровки ... +- 0,1 дБ - температурная зависимость ... +-0,1 дБ/10 С	
Точность делителей, приведенная к положению 0 дБ переключателя делителей	в диапазоне от -80 дБ до +20 дБ ... +-0,1 дБ в положении -90 дБ ... +-0,3 дБ
Отклонение частотной характеристики	
-в режиме работы в диапазоне от 15 Гц до 30 кГц, приведенное к частоте 1 кГц ... не более + 0,2 дБ - в режиме работы в диапазоне от 30 Гц до 16 кГц ...согласно стандарту МККР 468-2 - в режиме работы ТЕЛ. (VOICE) в диапазоне от 16 2/3 до 6 кГц ... согласно публикации 53 МСЭ-Т - в режиме работы ВЕЩАН. (PROGR) в диапазоне частот от 15 Гц до 50 кГц ... не более + 0,5 дБ	
Выпрямители	
Детектор эффективных значений:	
Характеристика	характеристика квадратичной формы с линейной шкалой
погрешность измерения эффективных значений	+ 0,5 дБ
предел перевозбуждения детектора	14 дБ
время набежки магнитоэлектрического прибора	200 мс, согласно рек. МСЭ-Т, или 5 с
Детектор квазипиковых значений:	
Характеристика	Согласно стандарту МККР 468-2
время интегрирования для отклонения до 50 %	10 мс
время интегрирования для отклонения до 80 %	200 мс
предел перевозбуждения детектора	26 дБ
Входы	
Симметричный вход с полным входным сопротивлением	600 Ом + 2 % или 10 кОм
Несимметричный вход с полным входным сопротивлением	600 Ом + 2 % или 10 кОм или 100 кОм (при этом чувствительность ниже на +20 дБ)
Симметричность входа при 50 Гц (симметричность входа 600 Ом или 10 кОм)	не менее 126 дБ

Выходы	
Контрольный выход (для наушника) Уровень на выходе (отклонение стрелки прибора при сигнале 0 дБ)	
при измерении эффективных значений	0 дБ
при измерении квазипиковых значений	-10 дБ
Полное выходное сопротивление	0 Ом
Допустимое сопротивление нагрузки	не менее 300 Ом
Выход для регистратора	для соединения с регистратором 2 кОм ... от 0 до 1 мА
Общие данные	
Питание от сети	110, 127, 230 В, от +15 до -20% 50-60 Гц
Потребляемая мощность	5 ВА
Питание от внешней батареи	от +-20 В до +- 28 В
Климатические условия	
Номинальный рабочий диапазон температуры	5 до +45°C
Диапазон температуры транспортировки и хранения	-50 до +70°C
Габариты	440 x 272 x 133 мм

2. Материалы и методы

Для начала приведем краткие сведения о работе псофометров. Входное сопротивление прибора изменяется подключением резистора с сопротивлением 600 Ом. При применении входного устройства трансформированного типа обеспечивается получение симметричного входа. С помощью переключателей в состав прибора включается либо псофометрический фильтр для телефонного канала, либо для вещательного канала, либо эквивалентное звено. Это звено включается при измерении интегральных помех и имеет затухание, одинаковое с затуханием псофометрических фильтров на средних частотах. Схема детектора обеспечивает квадратичное детектирование. При подведении к псофометру гармонических напряжений с частотами 800 Гц или 1000 Гц показания псофометра соответствуют среднеквадратическому значению напряжения на входе прибора.

При измерении псофометрической ЭДС в канале оба его конца должны быть замкнуты на резисторы с сопротивлением, равным сопротивлению линии. Поскольку при измерениях псофометрического напряжения входное сопротивление псофометра должно быть 600 Ом – для согласования применяется т.н. переходной симметрирующий трансформатор. При этом псофометрическая ЭДС будет равна удвоенному значению псофометрического напряжения. В тех случаях, когда характеристическое сопротивление канала не равно 600 Ом, он замкнут на согласованное сопротивление, следует производить пересчет приведенного напряжения.

Напряжение шума измеряют с интервалом 1 мин. Показания отсчитываются за период 5 с. При измерениях фиксируют средний уровень помехи и не учитывают отдельные резкие отклонения стрелки панели псофометра. На основании полученных результатов измерений вычисляют мощности, соответствующие измеренным направлениям, и определяют среднее

арифметическое значение псофометрической мощности шума за 1 ч. Для удобства расчетов нормы для кабельных каналов ведется в единицах мощности для точки на выходе канала с нулевым относительным уровнем, однако же распространенные измерительные приборы позволяют оценивать шумы в единицах напряжения, а не в единицах мощности. Поэтому, в случае использования данных систем, перед измерениями задаваемая в единицах мощности норма шума пересчитывается в единицы напряжения.

Зачастую, вместе с псофометром, используется девиометр, включаемый перед ним. В таком случае отклонения, измеряемые им, имеют оптическую аналогию с колористическим методом, основанным на постфильтровом измерении отклонения спектрофотометрической температуры в миредах (обратных микроградусах). Псофометрические характеристики при этом могут быть выражены также в радиометрическом и рейтметрическом аспекте, как это было реализовано в рамках имплементации наших идей в области СОВАС (Орехов, Градов, 2014; Orekhov, Gradov, 2015, 2016a, b). Пример схемы с расположением девиометра в цепи псофометрических измерений показан на Рисушке 1. Пример расположения псофометра с ЭВМ в опосредованном вычислительной машиной измерительном комплексе показан на Рисушке 2.

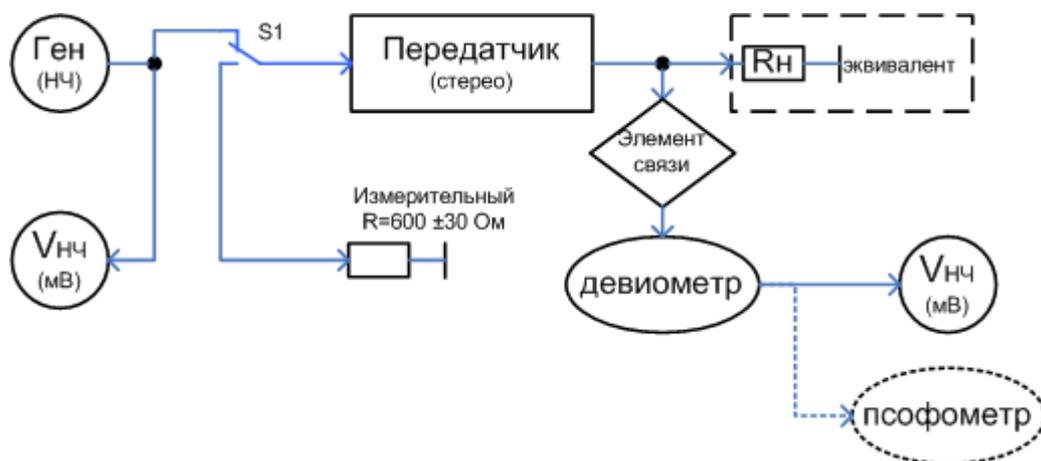


Рис. 1. Пример схемы с расположением девиометра в цепи псофометрических измерений (URL: <http://zv-1.narod.ru/text/izm/noise.htm>)



Рис. 2. Пример расположения псофометра в радиотехническом/радиолюбительском комплексе электроакустического оборудования (простейшем метрологическом стенде)

3. Результаты и обсуждение

Ниже в таблицах представлены компаративные результаты использования различных методов Ломбовского фингерпринтинга для определения компонент P-, Q-, R-, S-, T- кодов и частотных интервалов. В [Таблице 1](#) сведены результаты Ломбовских измерений (спектры с фингерпринтингом, означенным численными значениями), полученные с использованием скоростного алгоритма без фильтрации сигнала. Последовательно представлены:

1. Ломбовский спектр как таковой (Normalized Power) со статистической нормировкой,
2. по магнитуде
3. спектральная плотность мощности по алгоритму SSA (sum square analysis)
4. по амплитуде
5. спектральная плотность мощности по алгоритму MSA (mean square analysis)
6. спектральная плотность мощности по «временному» алгоритму TISA (time integrated square analysis)
7. а также – для сопоставления – два типа обычных спектров в dB, которые обычно получают и используют для качественного анализа.

Можно видеть, что, в отличие от первых методов, обычные спектрограммы в dB – в относительных логарифмических единицах не позволяют опознать и расшифровать отдельные пики. В то же время уровень субъективной зашумленности, вследствие логарифмического характера графического построения, у них выше и даже расширение диапазона в высокие частоты, преднамеренно осуществленное для dB визуализаций, показывает низкую величину эвристической ценности данной визуализации.

Более того, следует отдельно отметить, что, хотя из практики радиофизической и радиоэлектронной обработки сигналов, по аппроксимации периодограмм известно, что значения нормированной периодограммы Ломба имеют экспоненциальное распределение, показанные dB-графики не обладают строго экспоненциальным распределением. Как раз самую существенную низкочастотную часть, содержащую особенность рельефа, обусловленную кардиографическими компонентами, они не выделяют и даже приглушают по отношению к другим указанным методам, но она выдается рядом локальных экстремумов. Тем не менее, все виды аналитики и визуализации в Ломбовском режиме продемонстрировали один и тот же набор пиков, выданный в отдельную таблицу: 4.6{392}, 9.2{785}, 13.8{57}, 32.2{92}. Это говорит о высокой воспроизводимости и независимости предлагаемого метода от способа расчета.

Кроме того, можно обнаружить набор гармоник/сопряженных компонент, который также относится к сердечной деятельности. При этом в случае детектирования синхронно-сопряженных в сердечном ритме спектральных компонент принципиально не важно по какой – главной или боковой гармонике или компоненте осуществляется распознавание и кодирование; главное, что оно распознает физиологический режим, порождающий эту пульсацию. Нами были апробированы методы фингерпринтинга и кодирования над полем $GF(PQRST)$ по каждой из этих компонент и были получены результаты, не отличимый от остальных. Это, в свою очередь, также говорит о высокой надежности метода, так как даже при технологически-обусловленной потере той или иной компоненты, код является «помехозащищенным», корректирующимся и может сам исправлять ошибки за счет исходной информационной избыточности.

Вторым этапом проверки надежности предложенного подхода явилась апробация разных фильтров/окон и соответствующих методов, в особенности тех, что часто используются в медицинской практике. Конечным результатом должна была стать «дисквалификация» фильтров/окон и методов, не обеспечивающих достаточно правдоподобного распознавания вследствие удаления или метрологического искажения эвристически-ценных спектральных компонент. Нами апробировались следующие стандартные техники (приводятся в английском оригинале, так как в славянских языках прочтение некоторых из них имеет 3-5 вариантов):

- а. WELCH ([Gupta et al., 2013](#); [Rahi and Mehra, 2014](#); [Goel et al., 2015](#); [Mohidru et al., 2016](#); [Barbe et al., 2010](#); [Mitra, 2010](#); [Xiaoming et al., 2011](#); [Rahi, Mehra, 2014](#); [Ferreira et al., 2015](#); [Gismalla and Alsusa, 2011](#)), что применимо в кардиофизике и электроэнцефалографии ([Xu et al., 2016](#); [Zhao, He, 2013](#));

b. BISQUARE (статистическая / регрессионная, по происхождению (Gross, 1977; Regeth, Stine, 1996) техника, применимая в анализе ряда нейрофизиологических функций и поведения (Regeth, Stine, 1996, 1998), однако мало распространенная, но имеющая школы поклонников в развивающихся странах Азии (Rakhmasanti et al., 2013; Pradewi, 2012; Putra, Nio, 2015; Dewi, 2014; Harman, 2014; Vebiriyana et al., 2015; Shara et al., 2013);

c. BARTLETT (известный с 1960-х гг. (Wonnacott et al., 1961) метод Бартлетта и бартлеттовской декомпозиции в спектральном оценивании (Ahmed et al., 2006; Ding, 2011) позволяющий анализировать спектральные распределения разных форм (Agarwal et al., 2013), как правило, базирующийся на окнах Бартлетта и их модификациях (Bhattacharya, 2013; Gautam et al., 1996);

d. TUKEY-HANN (гибридная функция, основанная на окнах Тьюки, с именем которого ассоциируется алгоритм быстрого преобразования Фурье – алгоритм Кули-Тьюки (Cooley, Tukey, 1965; Cooley et al., 1967) – наиболее простой и эффективный по времени алгоритм преобразования Фурье, математически развитый (Maslen et al., 2001; Voronenko, Puschel, 2009; Püschel, Rtteler, 2008), имеющий имплементации под разные компьютерные архитектуры (Norton, Silberger, 1987; Ranganadh et al., 2011; Ranganadh, rao Dhanavath, 2013), хорошо работающий в многомерном варианте (Mersereau, Speake, 1981; Auslander et al., 1996; Bernardini et al., 1993, 1994);

e. MAX ROLLOFF (от roll-off factor – «коэффициент скругления», т.е. максимальный коэффициент сглаживания фильтром Найквиста, фильтром с характеристикой типа «приподнятый косинус» (ФПК), т.н. «raised-cosine filter» с минимальными межсимвольными искажениями «intersymbol interference» (аббрев. как ISI) в рамках критерия «Nyquist ISI criterion»; взаимосвязь данных терминов можно понять при рассмотрении работ (Xu et al., 2007; Kawamura et al., 2006; Mukherjee et al., 2013; Yue et al., 2015; Singh et al., 2012; Harako et al., 2011; Feng, Yuan, 2011; Oguro et al., 2016; Kim, Kim, 1999);

f. KAISER-BESSEL (окно Кайзера-Бесселя применяется при спектральном анализе в реальном времени и на дискретных выборках (Ray, Dhar, 2014; Nuttall et al., 1996); хорошо подходит для работ с многомерными данными, в частности – изображениями (Lewitt, 1990), в частности – с 3D-изображениями, обычно восстанавливаемыми, с использованием преобразования Радона – томограмм (Nilchian et al., 2015; Schoonover et al., 2013; Lougovski et al., 2015); взвешивание по указанному критерию, т.е. окну, применяется при использовании фильтров верхних частот в ходе преобразовании Гильберта в некоторых случаях (Peacock, 1985);

g. VAN-DER-MAAS (оптимально для исследования импульсного отклика (Barcilon, Temes, 1972);

h. CHEBYSHEV (окна Чебышева (Hermanowicz, 1998; Gu et al., 2012; Ning et al., 2011), применяемые в модифицированном виде, называемые «Dolph–Chebyshev window» (Lynch, 1997; Kumar, Kuldeep, 2014; Yao et al., 2014; Jagadamba, Satyanarayana, 2000; Trivedi, Lever, 1970; Tian et al., 2014; Dvorkovich, Dvorkovich, 2015); чебышевские фильтры известны в радиотехнике, электрофизиологии, анализе полимеромной информации (Bankman, Gath, 1991; Gao et al., 2005; Cai et al., 2017);

i. GAUSSIAN (видимо, не требует пояснений (Janssen, 1991; Brown, Wentzell, 2000; Dessouky et al., 2007; Ray, Ray, 1995; Jin, Hao, 2011; Grunbaum, 1974; Wu et al., 2012; Devarshi, 2016);

j. BETA (имеется в виду параметр β окна Кайзера, который обеспечивает удобный непрерывный контроль над соотношением между уровнем «боковых лепестков» и «главным лепестком» по ширине, т.к. расширение «главного лепестка» уменьшает разрешение по частоте спектрального анализа. По определению, «*The parameter of the Kaiser window provides a convenient continuous control over the fundamental window trade-off between side-lobe level and main-lobe width. The Kaiser beta parameter can be interpreted as 1/4 of the "time-bandwidth product" of the window in radians (seconds times radians-per-second)*» (Arya, Jaiswal, 2015; Reddy, 2006);

k. TAPERED COSIN (тоже самое, что и окно Тьюки – Tukey window; применяется в теории и инженерии антенн, радиооптике (Mahony, 2009, 2010; Shirasaki, 1997; Tuan, Chou,

2011), биомедицинской томографии, в частности – оптической или терагерцовой (Hiro-Oka et al., 2008 a, b).

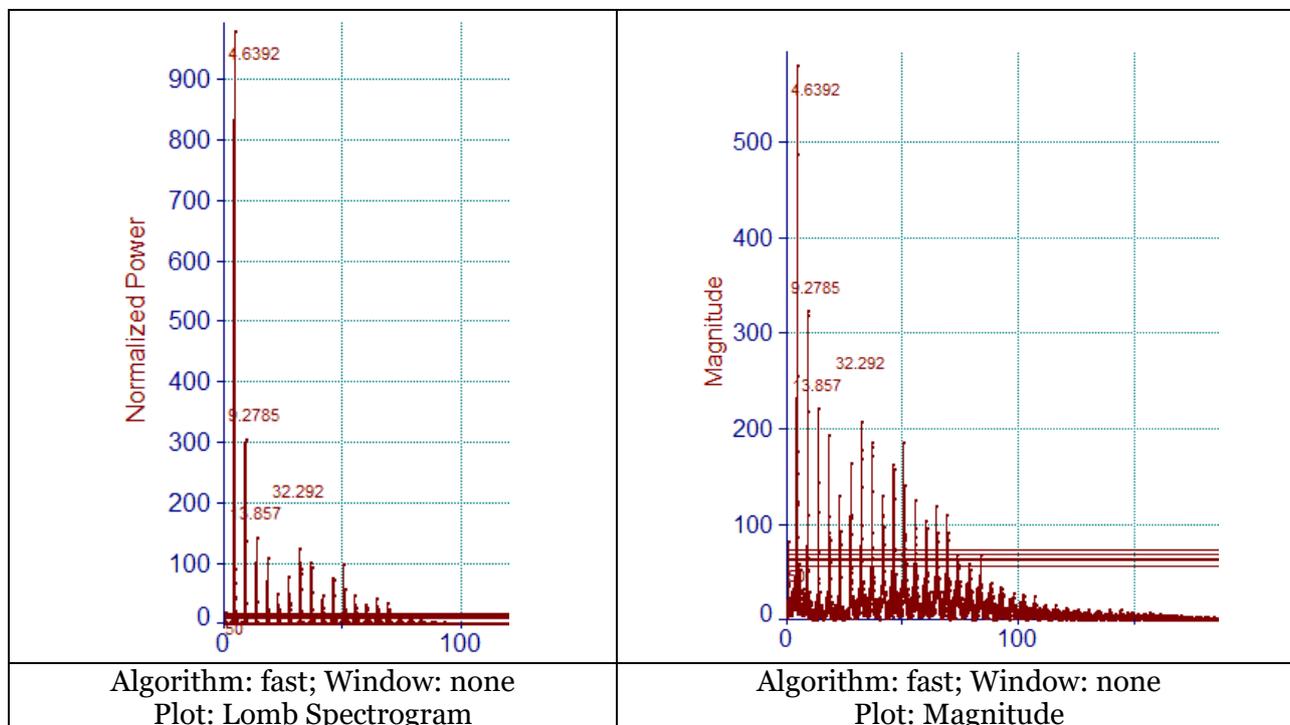
Во избежание дублирования информации таблиц в тексте читателю предлагается проанализировать численные значения самостоятельно. Можно только сказать, что часть фильтров сдвигала распознаваемые значения не только в п-ных знаках после запятой, но и перед запятой, в том числе – «делегируя» функцию носителей кода данного компонента над полем вторичным или чуждым ему гармоникам. Наименее оптимальными оказались beta и tapered cosin.

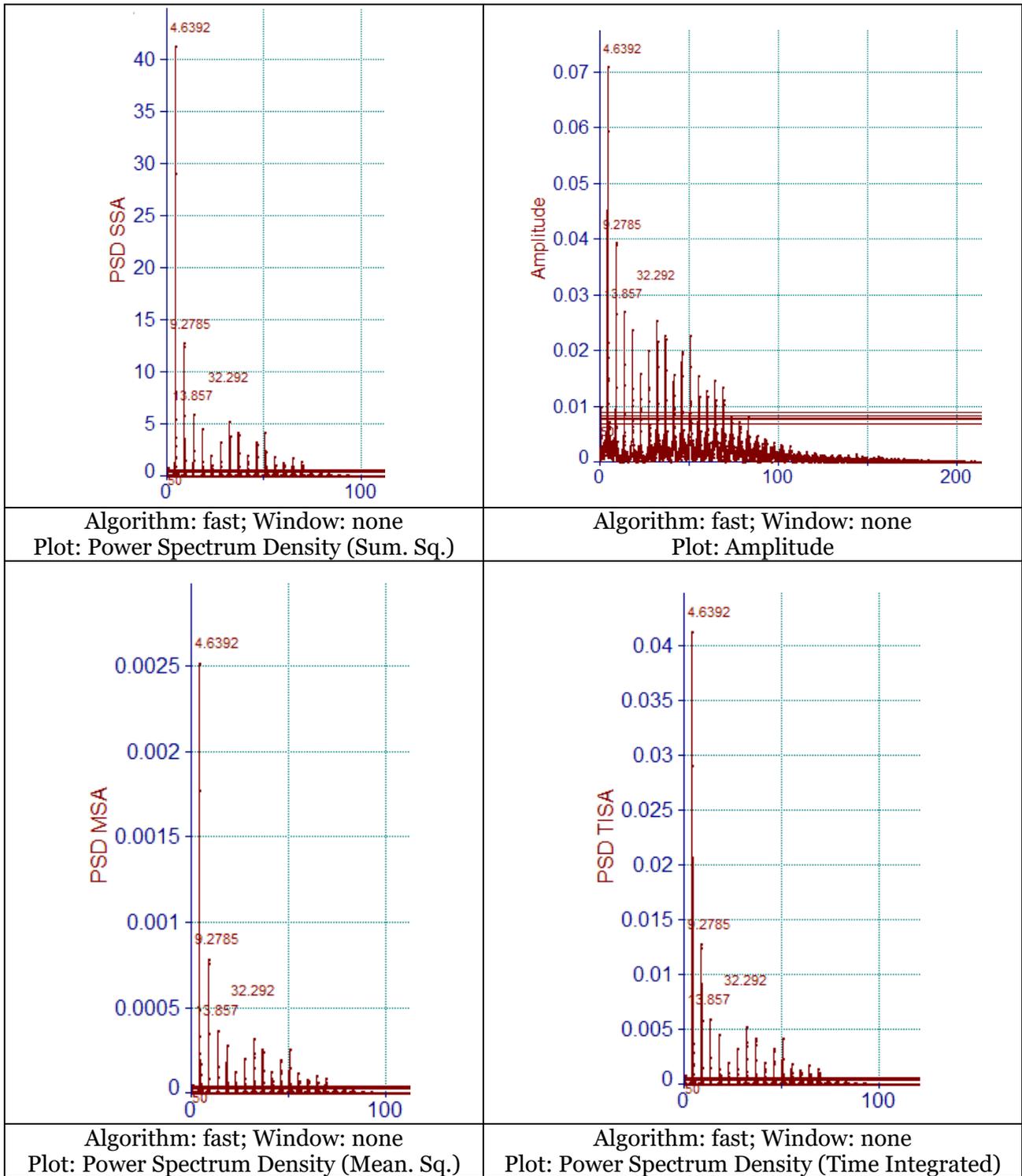
Другие фильтры дали согласованные друг с другом значения, сбавляя амплитуду и gate достоверного распознавания и одинаково отличаясь от нефильтрованного сигнала.

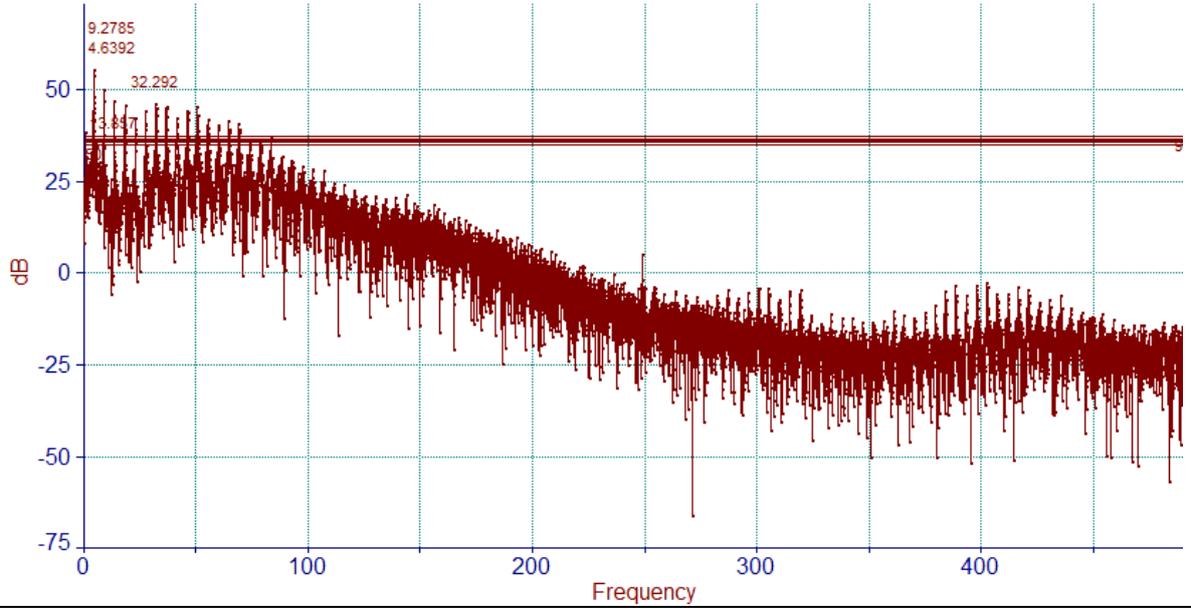
Таким образом, в случае использования фильтров не следует сопоставлять друг с другом данные, полученные на разных фильтрах и не рекомендуется использовать beta и tapered cosin. Следует подчеркнуть высокую устойчивость чистых ломбовских периодограмм ввода (для шаблонов и данных циклических кодов) к изменению пропусканию при фильтрации с использованием разных окон. В противовес этому чистая мощность, как показано во вспомогательно части таблицы 4, флуктуировала сильнее и поэтому не могла быть использована для полноценного морфологического анализа ЭКГ. Соответственно, системы Кайзера и Тьюки (фильтры beta и tapered cosin) не могли бы использоваться как морфологические фильтры для анализа ЭКГ или диагностические преобразователи формы сигнала в достаточно оптимальной форме.

Анализ магнитуды при разных фильтрах (Таблица 5) также показал высокую сходимость результатов при разных фильтрах, за исключением «дисквалифицированных». Исходя из идентичности результатов распознавания разными методами, приведенными в таблице 3, и разными фильтрами (естественно – за исключением амплитуды), что приведено в Таблице 4 и подтверждено в Таблице 5 было принято решение не вставлять в статью табличные данные по фильтрации и при использовании остальных методов, так как результаты оказались вполне предсказуемыми и сопоставимыми.

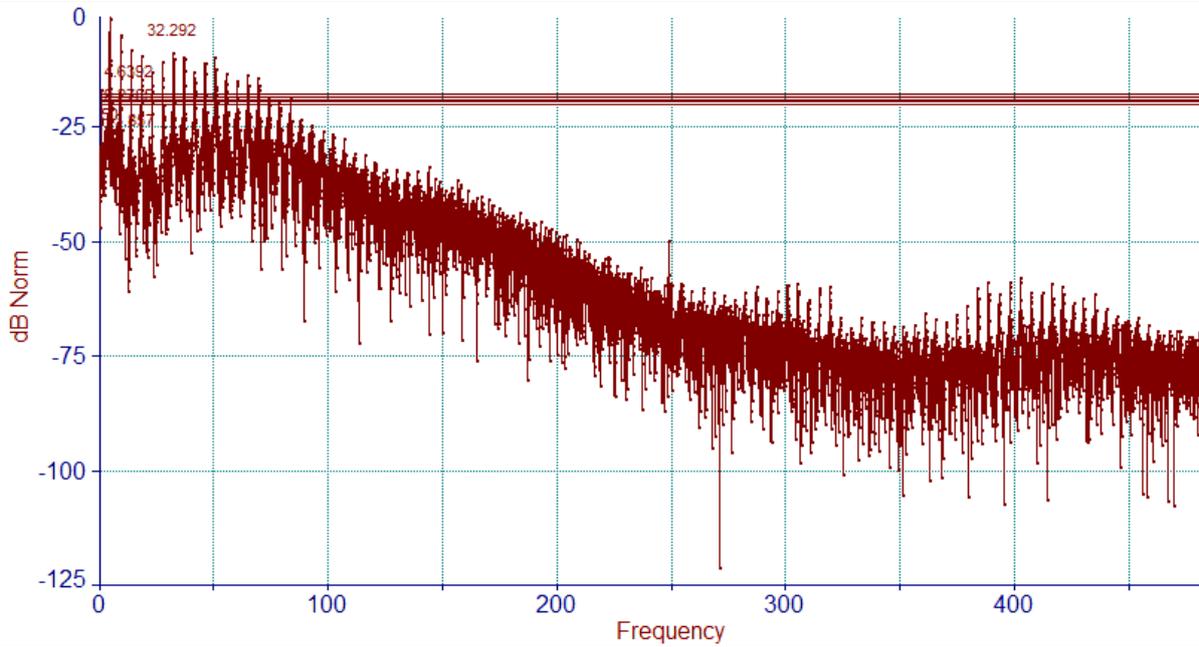
Таблица 3. Эффективность представлений периодограмм Ломба в анализе ЭКГ-данных





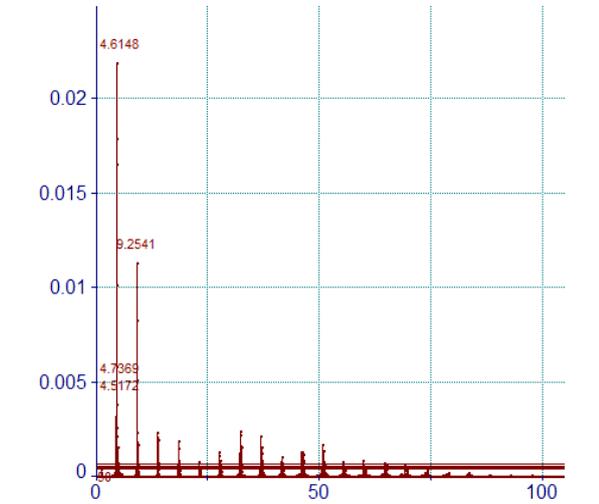
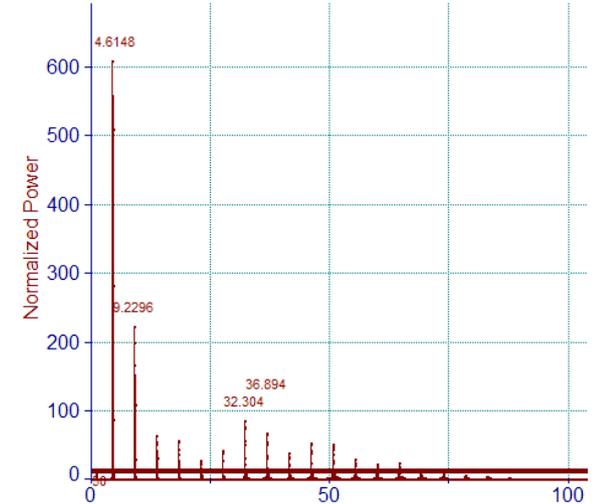
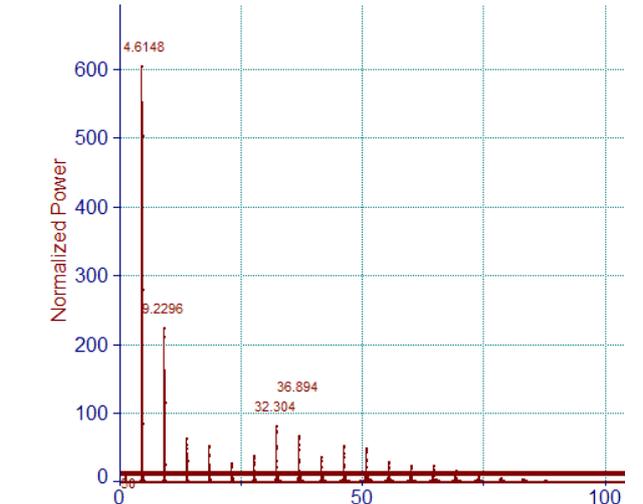
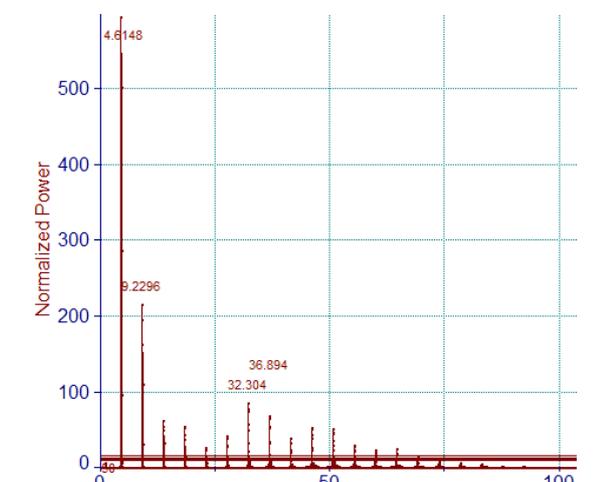
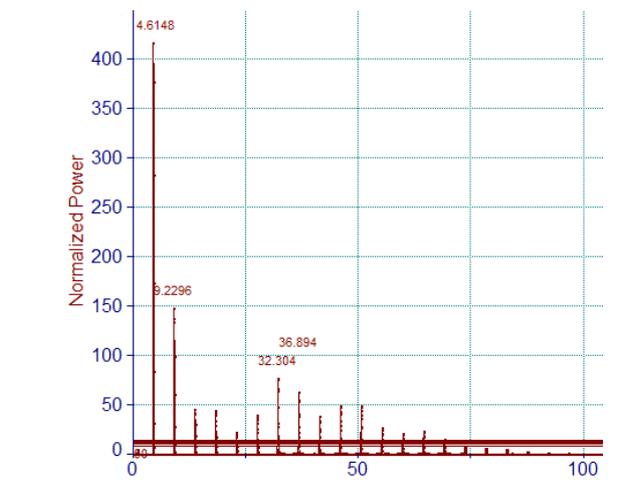


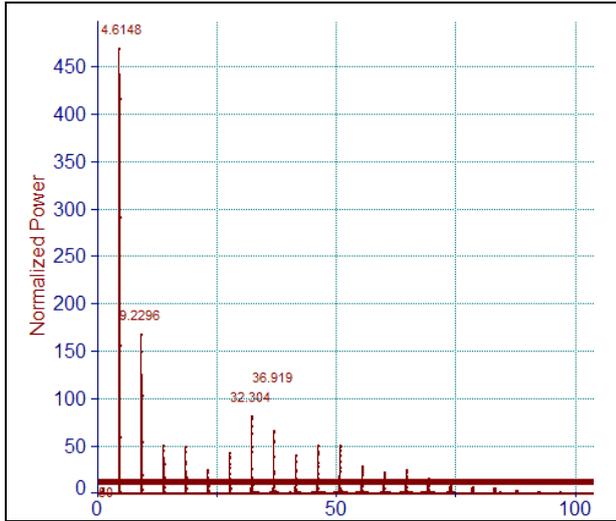
Algorithm: fast; Window: none; Plot: db



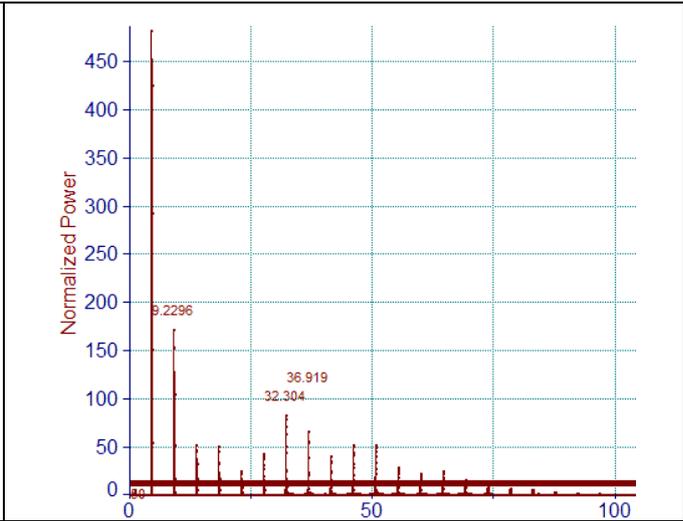
Algorithm: fast; Window: none; Plot: normalized db

Таблица 4. Воздействие режима обработки на качество сигнала при анализе мощности и нормализованной мощности (Normalized Power – Lomb Spectrogram; dB – Lomb Spectrogram)

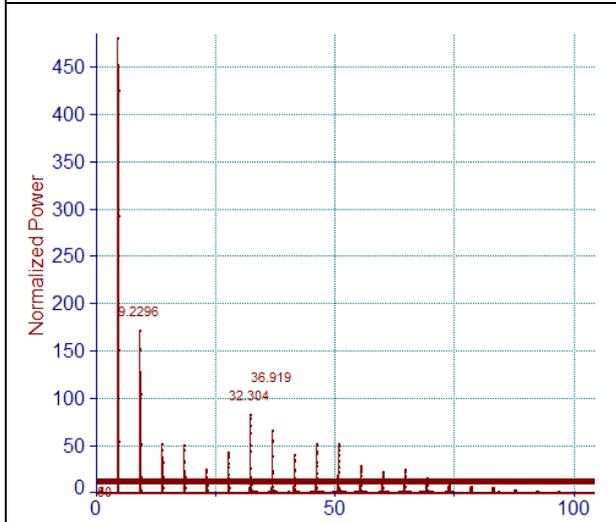
	
<p>Algorithm: fast; Window: none Plot: Normalized Power – Lomb Spectrogram</p>	<p>Algorithm: fast; Window: Welch Plot: Normalized Power</p>
	
<p>Algorithm: fast; Window: Bisquare Plot: Normalized Power</p>	<p>Algorithm: fast; Window: Bartlett Plot: Normalized Power</p>
	
<p>Algorithm: fast; Window: Tukey-Hann Plot: Normalized Power</p>	<p>Algorithm: fast; Window: max Rollof Plot: Normalized Power</p>



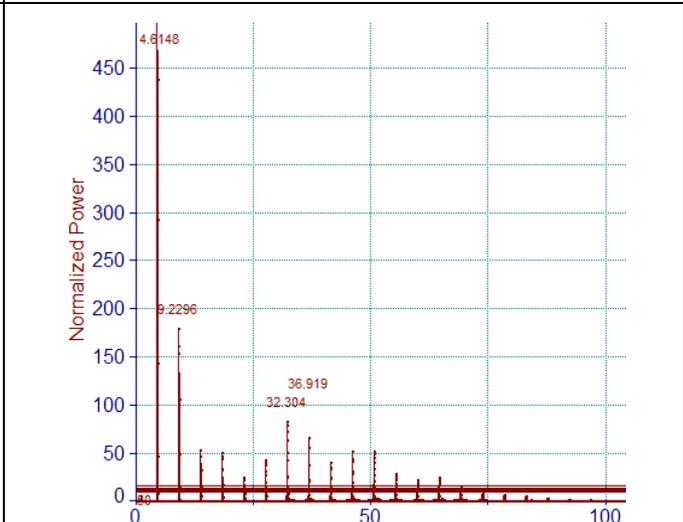
Algorithm: fast; Window: Kaiser-Bessel
Plot: Normalized Power



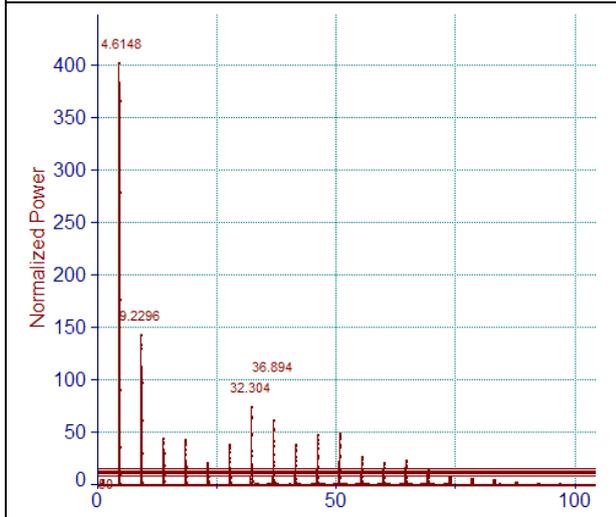
Algorithm: fast; Window: Van-der-Maas
Plot: Normalized Power



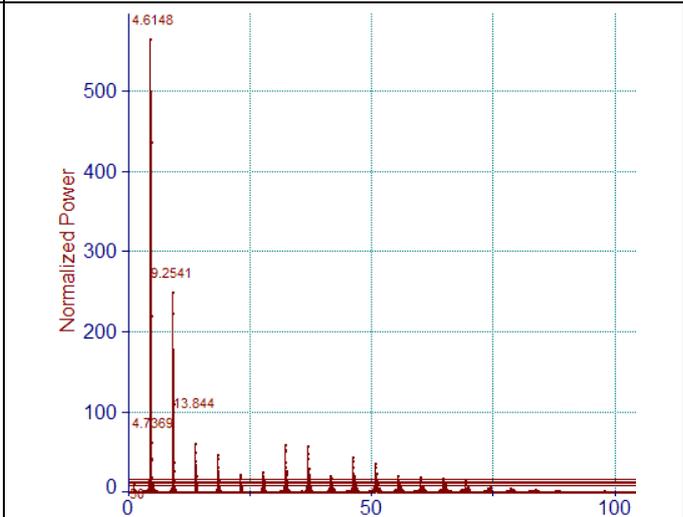
Algorithm: fast; Window: Chebyshev
Plot: Normalized Power



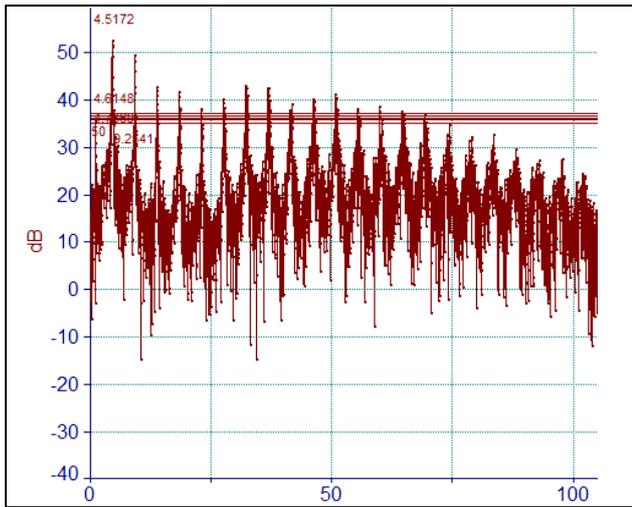
Algorithm: fast; Window: Gaussian
Plot: Normalized Power



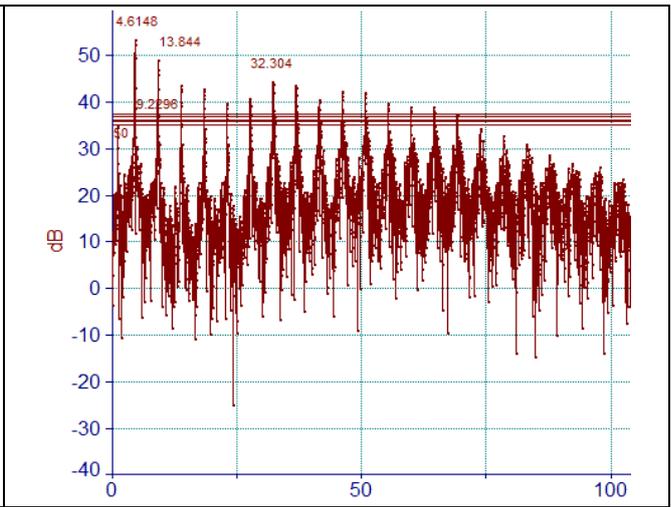
Algorithm: fast; Window: beta
Plot: Normalized Power



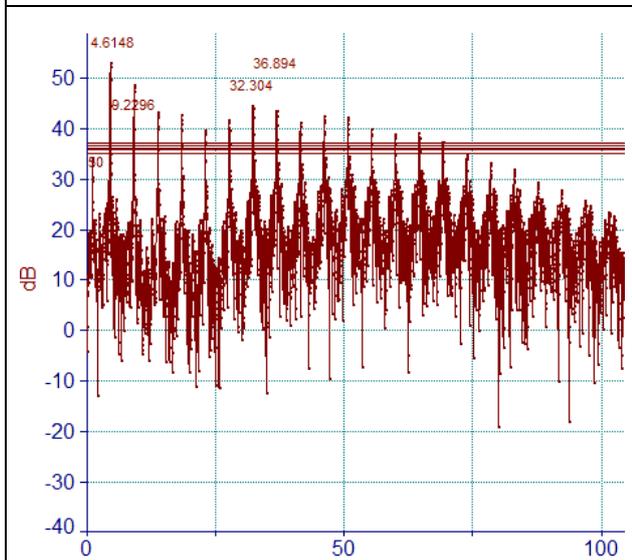
Algorithm: fast; Window: tapered cosin
Plot: Normalized Power



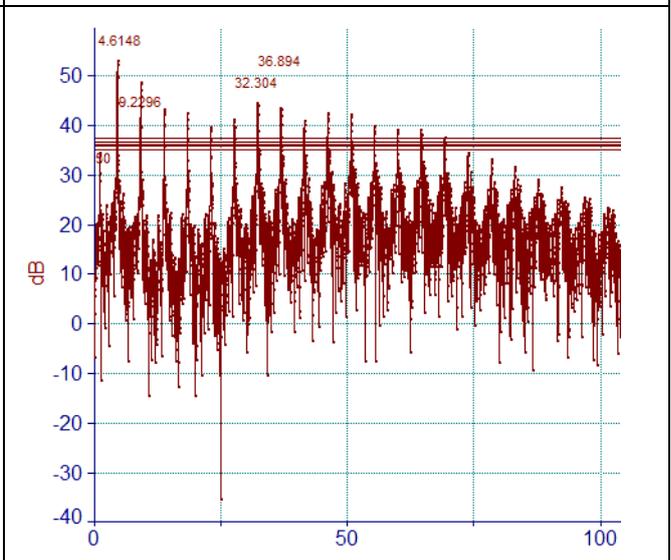
Algorithm: fast; Window: none
Plot: db



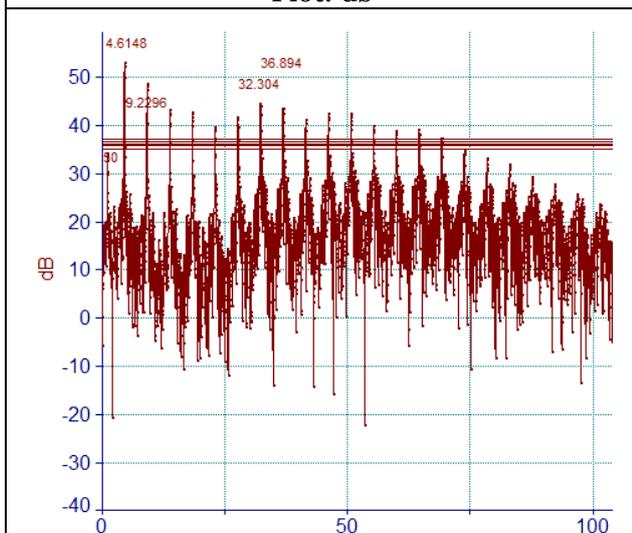
Algorithm: fast; Window: Welch
Plot: db



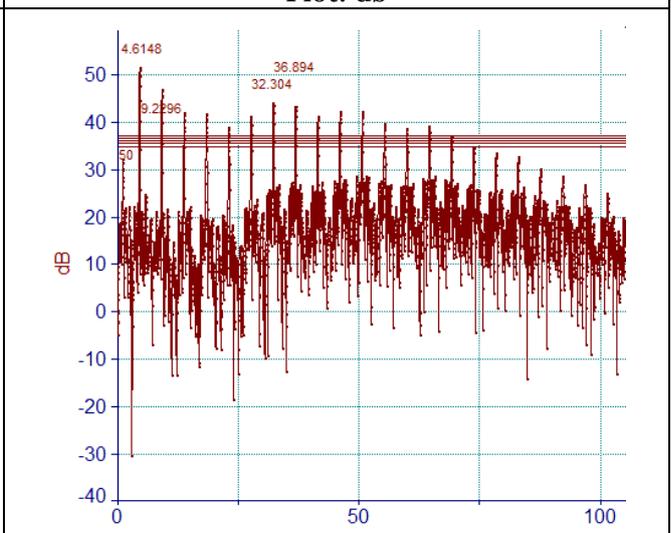
Algorithm: fast; Window: Bisquare
Plot: db



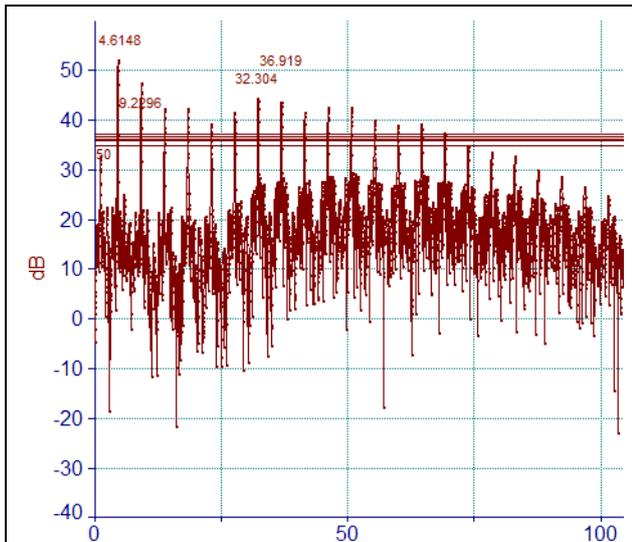
Algorithm: fast; Window: Bartlett
Plot: db



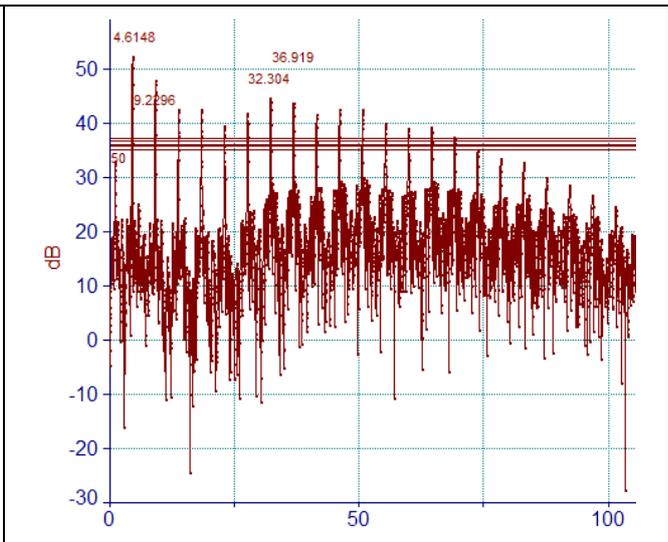
Algorithm: fast; Window: Tukey-Hann
Plot: db



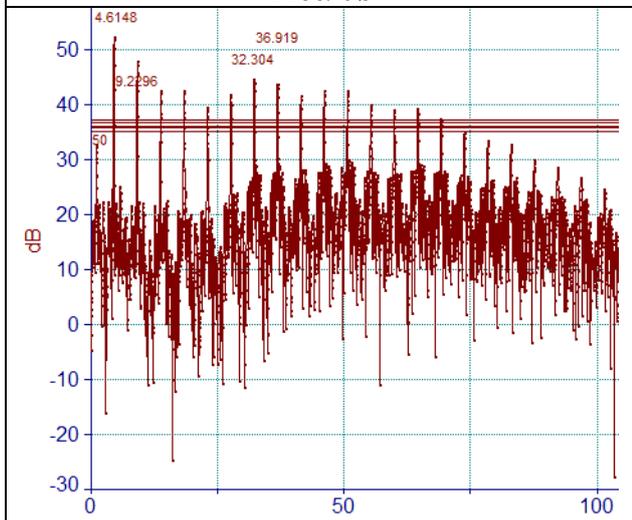
Algorithm: fast; Window: max Rollof
Plot: db



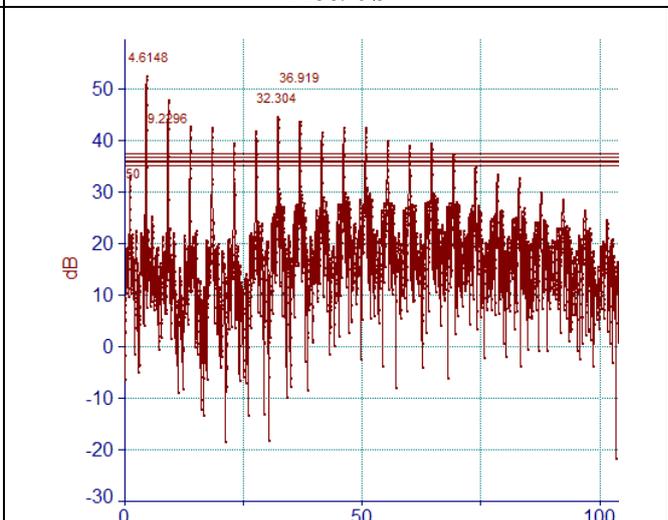
Algorithm: fast; Window: Kaiser-Bessel
Plot: db



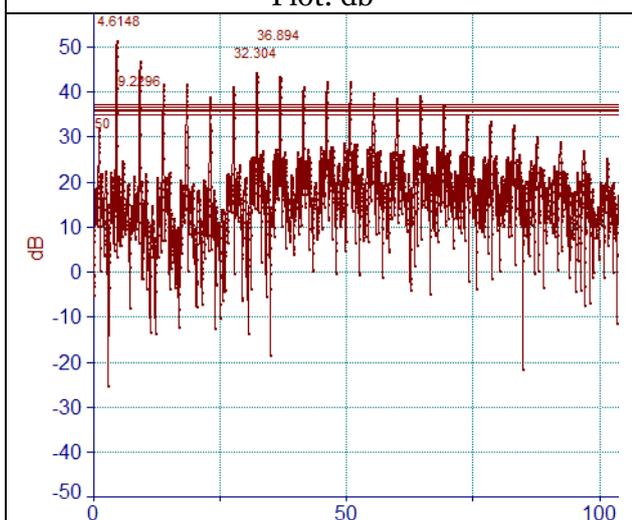
Algorithm: fast; Window: Van-der-Maas
Plot: db



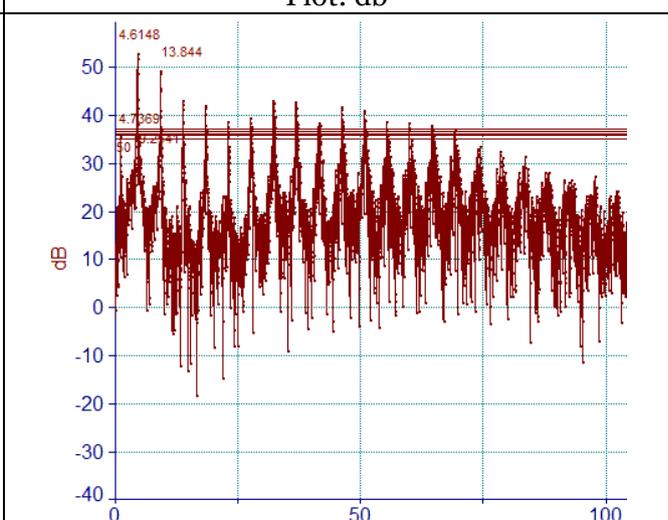
Algorithm: fast; Window: Chebyshev
Plot: db



Algorithm: fast; Window: Gaussian
Plot: db

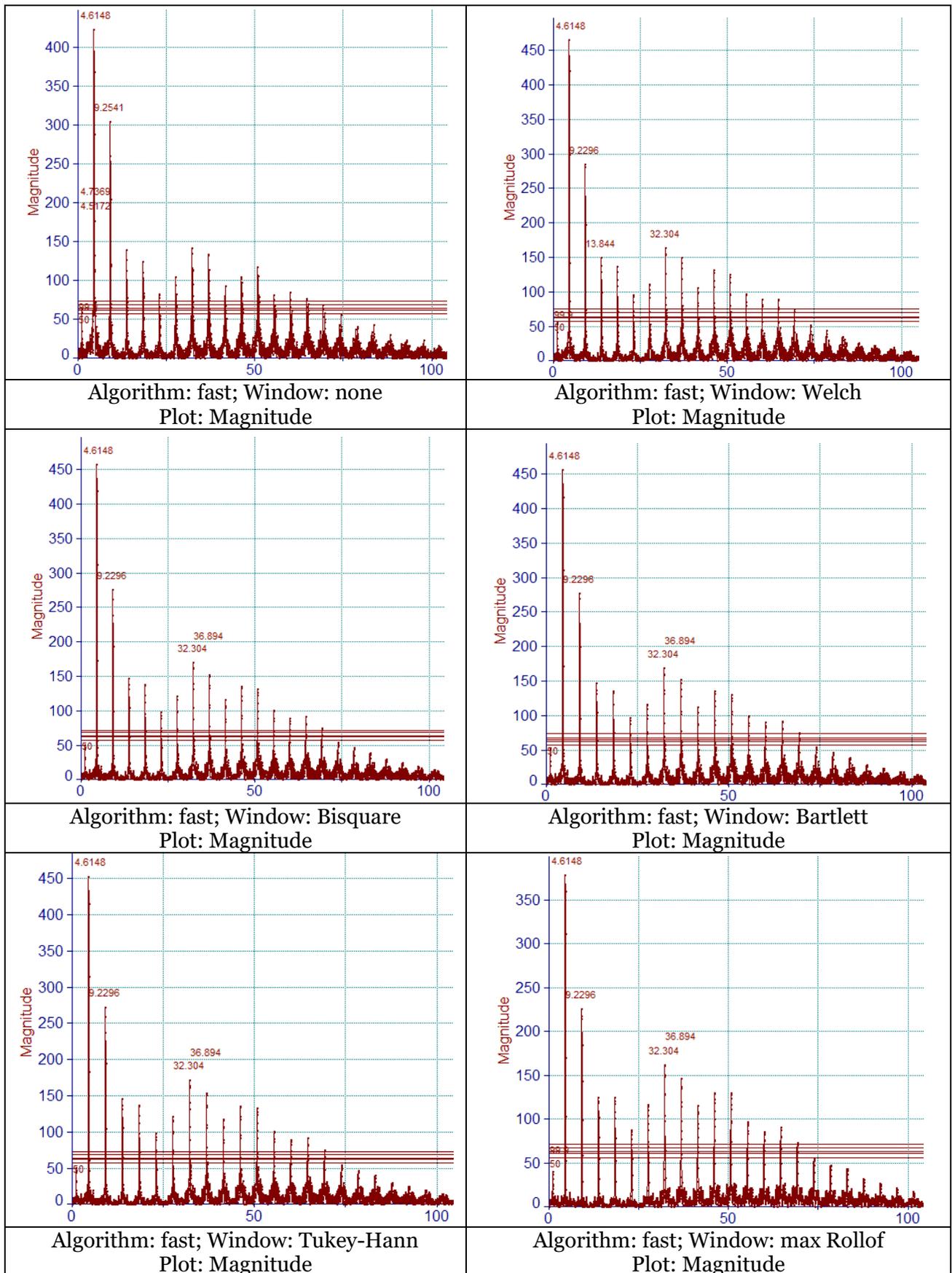


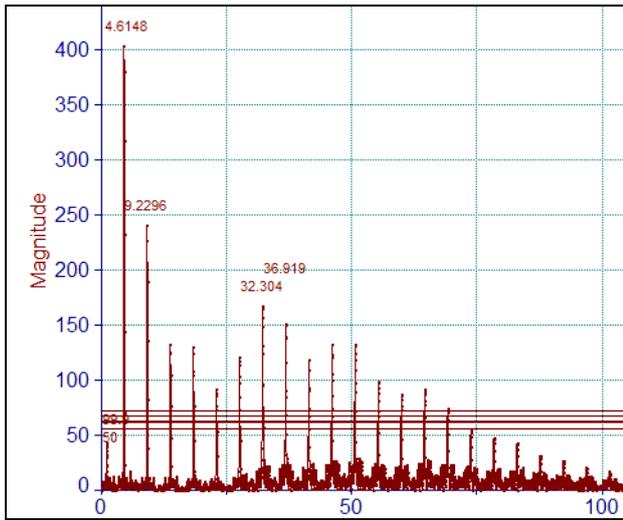
Algorithm: fast; Window: beta
Plot: db



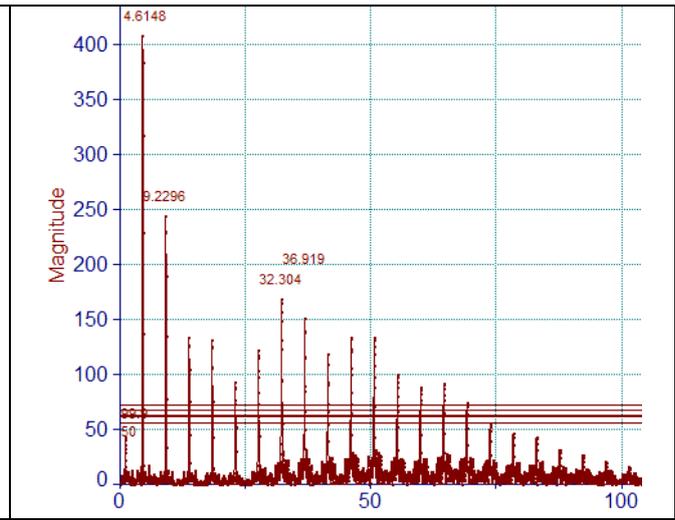
Algorithm: fast; Window: tapered cosin
Plot: db

Таблица 5. Вариабельность магнитуды в зависимости от режима обработки

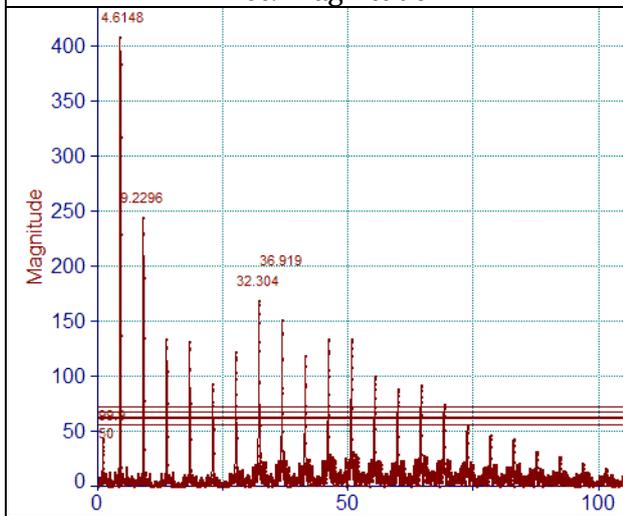




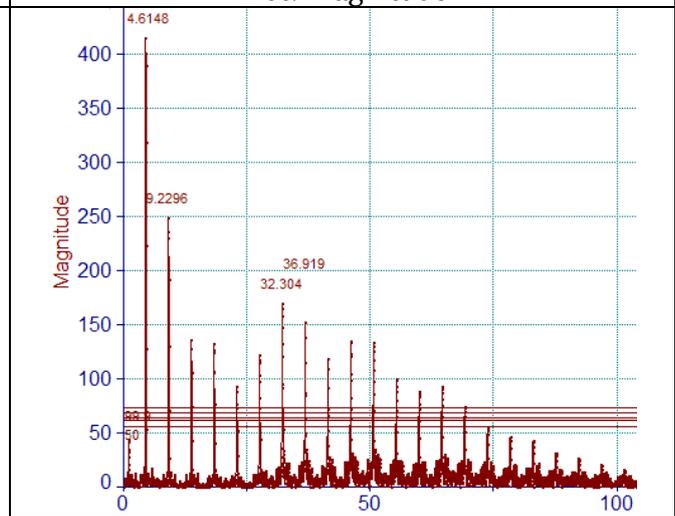
Algorithm: fast; Window: Kaiser-Bessel
Plot: Magnitude



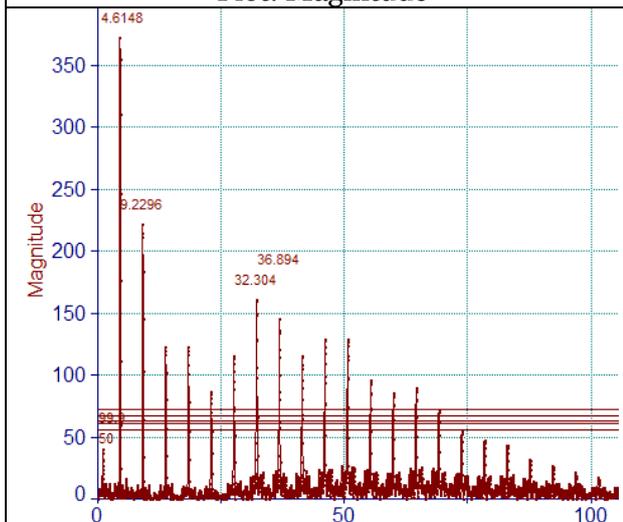
Algorithm: fast; Window: Van-der-Maas
Plot: Magnitude



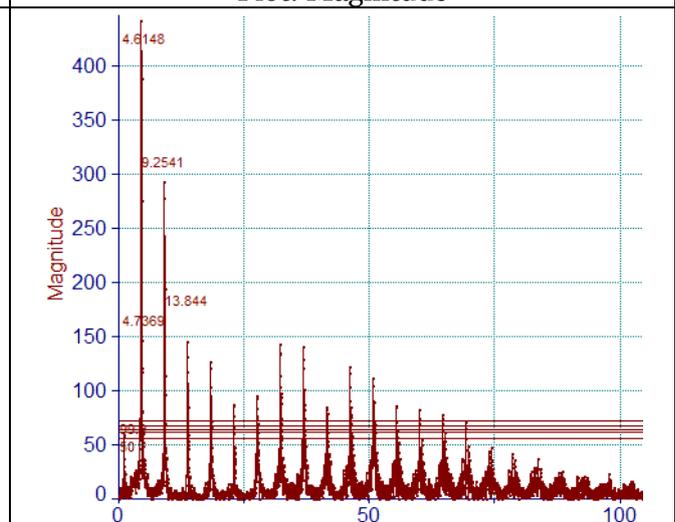
Algorithm: fast; Window: Chebyshev
Plot: Magnitude



Algorithm: fast; Window: Gaussian
Plot: Magnitude



Algorithm: fast; Window: beta
Plot: Magnitude



Algorithm: fast; Window: tapered cosin
Plot: Magnitude

4. Заключение

Предварительные данные по фильтрации и визуализации сигнала позволяют говорить о возможности использования «псофометрического» фильтрационного подхода в ЭКГ, но, с точки зрения оптимальности фильтрации, нужен подбор техник согласованной фильтрации непосредственно анализируемого ЭКС сигнала. Более того, только в таком случае становится возможным переход к индивидуализированной медицине, в том числе – телемедицине (при использовании телеметрических трансдюсеров ЭКС-сигнала). Автор подчёркивает, что его видение проблемы существенно отличается от подхода, означенного в статьях «Correction of the recording artifacts and detection of the functional deviations in ECG by means of syndrome decoding with an automatic burst error correction of the cyclic codes using periodograms for determination of code component spectral range» (Adamovich et al., 2015, 2016), завершение цикла которых было прервано по причине изменения взглядов первого автора на процессы обработки и предварительной фильтрации сигнала, частично означенные здесь.

References

- Adamovich et al., 2015 – Adamovich E.D., Aleksandrov P.L., Gradov O.V., Mamalyga, L.M., Mamalyga M.L. (2015). Correction of the recording artifacts and detection of the functional deviations in ECG by means of syndrome decoding with an automatic burst error correction of the cyclic codes using periodograms for determination of the code component spectral range. I. *Cardiometry*, 6: 65-76.
- Adamovich et al., 2016 – Adamovich E.D., Aleksandrov P.L., Gradov O.V., Mamalyga L.M., Mamalyga M.L. (2016). Correction of the recording artifacts and detection of the functional deviations in ECG by means of syndrome decoding with an automatic burst error correction of the cyclic codes using periodograms for determination of code component spectral range. II. *Cardiometry*, 8: 39-46.
- Agarwal et al., 2013 – Agarwal P., Singh S.P., Pandey V.K. (2013). Spectrum shaping analysis using tunable parameter of fractional based Bartlett window. *Advance Computing Conference (IACC), IEEE 3rd International. IEEE*, pp. 1625-1630.
- Ahmed et al., 2006 – Ahmed F.M., Elbarbary K.A., Elbardawiny A.R.H. (2006). A New Approach for Moving Target Detection using Bartlett Method for Spectral Estimation. *Wireless and Optical Communications*. Pp. 46-51.
- Arya, Jaiswal, 2015 – Arya R., Jaiswal S. (2015). Design of Low pass FIR Filters using Kaiser Window Function with variable parameter Beta (β). *Int. J. of Multidisciplinary and Current research*. Т. 3.
- Auslander et al., 1996 – Auslander L., Johnson J.R., Johnson R.W. (1996). Multidimensional Cooley–Tukey algorithms revisited. *Advances in Applied Mathematics*. Т. 17. №. 4. Pp. 477-519.
- Bankman, Gath, 1991 – Bankman I.N., Gath I. (1991). Chebyshev filter bank for estimation of frequency band powers in EEG. *Med Biol Eng Comput*. 29(1) :94-8.
- Barbe et al., 2010 – Barbe K., Pintelon R., Schoukens J. (2010). Welch method revisited: nonparametric power spectrum estimation via circular overlap. *IEEE Transactions on signal processing*. Т. 58. №. 2. Pp. 553-565.
- Barcilon, Temes, 1972 – Barcilon V., Temes G. (1972). Optimum impulse response and the Van Der Maas function. *IEEE transactions on Circuit Theory*. Т. 19. №. 4. Pp. 336-342.
- Bernardini et al., 1993 – Bernardini R., Cortelazzo G.M., Mian G.A. (1993). A general scrambling rule for multidimensional Cooley-Tukey FFT algorithms. *Acoustics, Speech, and Signal Processing. ICASSP-93., 1993 IEEE International Conference on. IEEE*. Т. 5. Pp. 185-188.
- Bernardini et al., 1994 – Bernardini R., Cortelazzo G.M., Mian G.A. (1994). A sequential multidimensional Cooley-Tukey algorithm. *IEEE transactions on signal processing*. Т. 42. №. 9. Pp. 2430-2438.
- Bhattacharya, 2013 – Bhattacharya A. (2013). A window function with modified co-efficients for FIR filter design with an improved frequency response and its comparison with the Bartlett-Hann window. *International Journal of Science, Engineering and Technology Research*. Т. 2. №. 6. Pp: 1345-1352.

[Brown, Wentzell, 2000](#) – *Brown C.D., Wentzell P.D.* (2000). A modification to window target-testing factor analysis using a Gaussian window. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*. T. 51. №. 1. Pp. 3-7.

[Cai et al., 2017](#) – *Cai K. et al.* (2017). A framework combining window width-level adjustment and Gaussian filter-based multi-resolution for automatic whole heart segmentation. *Neurocomputing*. T. 220. Pp. 138-150.

[Cavaliere et al., 1981](#) – *Cavaliere S., Ortosecco I., Piccialli A., Fedullo V.* (1981). A digital IIR implementation for a psophometric weighting filter with 7 bit coefficients. *Alta Frequenza*, 50(4), 226-228.

[Chao, 1992](#) – *Chao Z.S.Q.C.* (1992). Analog Calculation of Psophometric Interference Current of Electric Locomotives. *Electric Drive for Locomotives*, 1: 002.

[Coccia et al., 2003](#) – *Coccia A., Del Pizzo A., Rizzo R.* (2003, November). Auxiliary winding of a multibody traction transformer for filtering psophometric currents produced by interlaced modulation of PWM rectifiers. *Power Electronics and Drive Systems, 2003. PEDS 2003. The Fifth International Conference on* (Vol. 1, pp. 665-670). IEEE.

[Coccia et al., 2004](#) – *Coccia A., Del Pizzo A., De Marco G., Porzio M.* (2004). Secondary currents filtering by means of a properly sized winding in a multicoil traction transformer for high power applications to limit Psophometric Currents. In *Power Electronics Specialists Conference, 2004. PESC 04. 2004 IEEE 35th Annual* (Vol. 3, pp. 1874-1880). IEEE.

[Coccia et al., 2004](#) – *Coccia A., Del Pizzo A., Rizzo R.* (2004). Design optimization of multicoil traction transformers to limit psophometric currents. *Industrial Electronics, 2004 IEEE International Symposium on* (Vol. 2, pp. 901-906). IEEE.

[Cooley et al., 1967](#) – *Cooley J.W., Lewis P.A.W., Welch P.D.* (1967). Historical notes on the fast Fourier transform. *Proceedings of the IEEE*. T. 55. №. 10. Pp. 1675-1677.

[Cooley, Tukey, 1965](#) – *Cooley J.W., Tukey J.W.* (1965). An algorithm for the machine calculation of complex Fourier series. *Mathematics of computation*. T. 19. №. 90. Pp. 297-301.

[Davis, Harbottle, 1938](#) – *Davis A.H., Harbottle H.R.* (1938). The authors' replies to the discussion on "An objective noise-meter for the measurement of moderate and loud, steady and impulsive noises" and "The circuit noise-meter (psophometer) and its applications". *Journal of the Institution of Electrical Engineers*. 83(500): 282-288.

[Deescherevsky et al., 2003](#) – *Deescherevsky A.V., Lukk A.A., Sidorin A.Y., Vstovsky G.V., Timashev S.F.* (2003). Flicker-noise spectroscopy in earthquake prediction research. *Natural Hazards and Earth System Science*. 3(3/4), 159-164.

[Dessouky et al., 2007](#) – *Dessouky M.I., Sharshar H.A., Albagory Y.A.* (2007). Optimum normalized-Gaussian tapering window for side lobe reduction in uniform concentric circular arrays. *Progress in Electromagnetics Research*. T. 69. Pp. 35-46.

[Devarshi, 2016](#) – *Devarshi S.* (2016). Image Enhancement Using Local Window Histogram Equalization Using Gaussian Filter. *Image*. T. 3. № 8.

[Dewi, 2014](#) – *Dewi S.R.* (2014). Pemodelan metode geographically weighted ordinaly logistic regression dengan fungsi pembobot adaptive gaussian kernel, adaptive bisquare kernel, dan adaptive tricube kernel. *Jurnal Mahasiswa Statistik*. T. 2. № 6. Pp. 429-432.

[Ding, 2011](#) – *Qi Ding, Weixia Zou, Zheng Zhou, Bin Li and Yabin Ye* (2011). A blind spectrum-sensing method based on Bartlett decomposition. 2011 6th International ICST Conference on Communications and Networking in China (CHINACOM), Harbin, pp. 639-644.

[Dudziewicz, 1977](#) – *Dudziewicz J.* (1977). New proposals for assessment of psophometric noise power in a telephone circuit. *Telecommunication Journal*, 44(4), 193-203.

[Dvorkovich, Dvorkovich, 2015](#) – *Dvorkovich V.P., Dvorkovich A.V.* (2015). New methods for calculation of Dolph-Chebyshev and Barsilon-Temes window functions and their modifications. *Journal of Communications Technology and Electronics*. T. 60. №. 4. Pp. 345-361.

[Feng, Yuan, 2011](#) – *Feng X., Yuan H.* (2011). The effect of roll-off factor on modulation classifier. *Electric Information and Control Engineering (ICEICE), 2011 International Conference on. IEEE*, pp. 2752-2753.

[Ferreira et al, 2015](#) – *Ferreira J.G., Sobczyk T.J., Warzecha A.* (2015). Multicriteria diagnosis of synchronous machine using the welch method. *Czasopismo Techniczne, 2015 (Elektrotechnika Zeszyt 1-E (8))*: 343-352.

- Gao et al., 2005 – Gao Y, Shao S, Xiao X, Ding Y, Huang Y, Huang Z, Chou K.C. (2005). Using pseudo amino acid composition to predict protein subcellular location: approached with Lyapunov index, Bessel function, and Chebyshev filter. *Amino Acids*. Jun; 28(4): 373-6.
- Gautam et al., 1996 – Gautam J.K., Kumar A., Saxena R. (1996). On the modified Bartlett-Hanning window (family). *IEEE Transactions on Signal Processing*. T. 44. No. 8. Pp. 2098-2102.
- Gismalla, Alsusa, 2011 – Gismalla E.H., Alsusa E. (2011). On the detection of unknown signals using Welch overlapped segmented averaging method. *Vehicular Technology Conference (VTC Fall), 2011 IEEE. IEEE*, pp. 1-5.
- Goel et al., 2015 – Goel S., Kaur G., Tomar P. (2015). Performance analysis of Welch and Blackman Nuttall window for noise reduction of ECG. *Signal Processing, Computing and Control (ISPC), 2015 International Conference on. IEEE*, pp. 87-91.
- Gross, 1977 – Gross A.M. (1977). Confidence intervals for bisquare regression estimates. *Journal of the American Statistical Association*. T. 72. No 358. Pp. 341-354.
- Grunbaum, 1974 – Grunbaum F.A. (1974). Looking at a Gaussian process through a window. *Journal of Multivariate Analysis*. T. 4. No. 4. Pp. 401-408.
- Gu et al., 2012 – Gu C., Zhao J., Xu W., Sun D. (2012). Design of linear-phase notch filters based on the OMP scheme and the chebyshev window. *IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs*, 59(9), 592-596.
- Gupta et al., 2013 – Gupta H.R., Mehra R., Batan S. (2013). Power spectrum estimation using Welch method for various window techniques. *International Journal of Scientific Research Engineering & Technology*. T. 2. No. 6. Pp. 389-392.
- Harako et al., 2011 – Harako K., Suzuki D., Hirooka T., Nakazawa M. (2016). Roll-off factor dependence of Nyquist pulse transmission. *Optics Express*, 24(19), 21986-21994.
- Harbottle, 1938 – Harbottle H.R. (1938). The circuit noise-meter (psophometer) and its applications. *Journal of the Institution of Electrical Engineers*, 83(500): 261-274.
- Harman, 2014 – Harman A. (2014). Perbandingan pembobot tukey bisquare dan pembobot fair dalam regresi robust-M. *Jurnal Mahasiswa Statistik*. T. 2. No. 4. Pp. 253-256.
- Hermanowicz, 1998 – Hermanowicz E. (1998). A nearly optimal variable fractional delay filter with extracted Chebyshev window. *Electronics, Circuits and Systems, 1998 IEEE International Conference on. IEEE*, T. 2. Pp. 401-404.
- Hertz, 1977 – Hertz B.F. (1977). Psophometric Noise Measurement on Audio Equipment. *Audio Engineering Society Convention 56*. Audio Engineering Society.
- Hiro-Oka et al., 2008a – Hiro-Oka H. et al. (2008). Use of cosine tapered window to improve dynamic range of OCT without loss of resolution. *Biomedical Optics (BiOS) 2008*. International Society for Optics and Photonics, Pp. 68472C-68472C-7.
- Hiro-Oka et al., 2008b – Hiro-Oka H. et al. (2008). Use of cosine tapered window to improve dynamic range of OCT without loss of resolution [6847-83]. *PROCEEDINGS-SPIE THE INTERNATIONAL SOCIETY FOR OPTICAL ENGINEERING. International Society for Optical Engineering; 1999, 2008*. T. 6847. P. 6847.
- Jagadamba, Satyanarayana, 2000 – Jagadamba P., Satyanarayana P. (2000). The effect of window parameter (α) in Dolph-chebyshev window on the processing of atmospheric signals. *International Journal of Engineering research and Applications (IJERA)*, ISSN. Pp. 2248-9622.
- Janssen, 1991 – Janssen A.J.E.M. (1991). Optimality property of the Gaussian window spectrogram. *IEEE transactions on signal processing*. T. 39. No. 1. Pp. 202-204.
- Jin, Hao, 2011 – Jin Y., Hao Z. (2011). An improved flowchart for gabor order tracking with gaussian window as the analysis window. *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*. T. 2011. P. 6.
- Kawamura et al., 2006 – Kawamura T., Kishiyama Y., Higuchi K., Sawahashi M. (2006, September). Investigations on optimum roll-off factor for DFT-spread OFDM based SC-FDMA radio access in evolved UTRA uplink. *Wireless Communication Systems. ISWCS'06. 3rd International Symposium on* (pp. 383-387). IEEE.
- Kim, Kim, 1999 – Kim D.H., Kim S.W. (1999). Optimum Roll-Off Factor and Channel Allocation in Spectrally Overlaid Multiband CDMA System. *CDMA International Conference & Exhibition*. Pp. 31-35.
- Kiss, Dán, 2007 – Kiss P., Dán A. (2007). Novel method for modelling and calculating the harmonic effect and psophometric disturbance of high power electric traction. *Electromagnetic*

Compatibility and Electromagnetic Ecology, 2007 7th International Symposium on (pp. 48-51). IEEE.

[Korol, 1973](#) – Korol V. (1973). Effective psophometric voltage when transmitting text by direct telegraphy. *Telecommunications and Radio Engineering*. 27(4): 22-24.

[Kumar, Kuldeep, 2014](#) – Kumar A., Kuldeep B. (2014). Design of cosine modulated pseudo QMF bank using modified Dolph-Chebyshev window. *International Journal of Signal and Imaging Systems Engineering*. T. 7. №. 2. Pp. 126-133.

[Lewitt, 1990](#) – Lewitt R.M. (1990). Multidimensional digital image representations using generalized Kaiser–Bessel window functions. *JOSA A*. T. 7. №. 10. Pp. 1834-1846.

[Lougovski et al., 2015](#) – Lougovski A., Hofheinz F., Maus J., Schramm G., van den Hoff J. (2015). On the relation between Kaiser–Bessel blob and tube of response based modelling of the system matrix in iterative PET image reconstruction. *Physics in medicine and biology*. 60(10): 4209.

[Lynch, 1997](#) – Lynch P. (1997). The Dolph–Chebyshev window: A simple optimal filter. *Monthly weather review*. T. 125. №. 4. Pp. 655-660.

[Mahony, 2009](#) – Mahony J.D. (2009). The Tapered Cosine Distribution on a Circular Aperture. *IEEE Antennas and Propagation Magazine*. T. 51. №. 5.

[Mahony, 2010](#) – Mahony J.D. (2010). An Approximate Expression for the Directivity of a Tapered-Cosine Distribution on a Circular Aperture. *IEEE Antennas and Propagation Magazine*. T. 52. №. 2. Pp. 126-128.

[Maslen et al., 2001](#) – Maslen D.K., Rockmore D.N. (2001). The Cooley-Tukey FFT and group theory. *Notices of the AMS*. T. 48. №. 10. Pp. 1151-1160.

[Mersereau, Speake, 1981](#) – Mersereau R., Speake T. (1981). A unified treatment of Cooley-Tukey algorithms for the evaluation of the multidimensional DFT. *IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing*. T. 29. №. 5. Pp. 1011-1018.

[Mitra, 2010](#) – Mitra S., Date P. (2010). Regime switching volatility calibration by the Baum–Welch method. *Journal of computational and applied mathematics*. T. 234. №. 12. Pp. 3243-3260.

[Mohidru et al., 2016](#) – Mohidru P., Khanna R., Bhatia S.S. (2016). Spectral Analysis of Generalized Triangular and Welch Window Functions using Fractional Fourier Transform. *Automatika*. T. 57. №. 1. Pp. 221-229.

[Moskalev, 2010](#) – Moskalev B.A. (2010). Analiz kriteriya "psofometricheskii tok" [Analysis of the criterion "psophometric current"]. *Vestnik Vserossiiskogo nauchno-issledovatel'skogo i proektno-konstruktorskogo instituta elektrovostroyeniya*, (2): 136-147. [in Russian]

[Mukherjee et al., 2013](#) – Mukherjee B., Samariya A.L., Tiwari S. (2013). Improvement in Roll off factor of Low Pass Filter placed on an EBG substrate. *Frequenz*. T. 67. №. 3-4. Pp. 73-78.

[Nilchian et al., 2015](#) – Nilchian M., Ward J.P., Vonesch C., Unser M. (2015). Optimized Kaiser–Bessel Window Functions for Computed Tomography. *IEEE Transactions on Image Processing*, 24(11): 3826-3833.

[Ning et al., 2011](#) – Ning L., Yongliang X., Shaoguang X. (2011). Cycle slip detection and correction for single-frequency gps data based on sliding window of chebyshev polynomial fitting of robust estimation. *Journal of Geodesy and Geodynamics*. T. 2. P. 021.

[Norton, Silberger, 1987](#) – Norton A., Silberger A.J. (1987). Parallelization and performance analysis of the Cooley-Tukey FFT algorithm for shared-memory architectures. *IEEE Transactions on Computers*. T. 36. №. 5. Pp. 581-591.

[Nuttall et al., 1996](#) – Nuttall A.H., Hall J.S., Sanchis J.V. (1996). Stability Measures for Spectral Analysis Using Discrete Sampling with the Kaiser-Bessel or Dolph-Chebyshev Window. *NAVAL UNDERSEA WARFARE CENTER NEWPORT DIV RI*, № NUWC-NPT-TR-10628.

[Oguro et al., 2016](#) – Oguro T., Miyoshi Y., Kubota H., Ohashi M. (2016, July). Relationship between roll-off factor and transmission distance in Nyquist OTDM scheme based on correlation detection with EDFA repeaters. *OptoElectronics and Communications Conference (OECC) held jointly with 2016 International Conference on Photonics in Switching (PS)*, (pp. 1-3). IEEE.

[Orekhov, Gradov, 2014](#) – Orekhov F.K., Gradov O.V. (2014). Gibridizatsiya COBAC, QSPR/QSAR i SBGN: edinstvo teorii i praktiki v analize dannykh i proektirovanii spektral'no-biokhimicheskogo laboratorno-dagnosticheskogo i biomeditsinskogo oborudovaniya [Hybridization of COBAC, QSPR/QSAR and SBGN: the unity of theory and practice in data analysis and design of spectroscopic biochemical laboratory diagnostic and biomedical equipment]. *Biotekhnosfera*, 33(3): 29-31. [in Russian]

[Orekhov, Gradov, 2015a](#) – Orekhov F.C., Gradov O.V. (2015). On-line/real time compatibility of COBAC analysis, QSPR, QSAR and SBGN big data mining as a novel tool for physiochemical prognostics in the biomedicine-assisted screening and experimental toxicology and allergology. *Journal of data mining in genomics & proteomics*. 6(4): 64.

[Orekhov, Gradov, 2015b](#) – Orekhov F.C., Gradov O.V. (2015). In situ/real time analysis in frame of COBAC, QSPR, QSAR and SBGN as a novel tool for the biosimilarity studies and physiochemical prognostics in the biomedicine-assisted screening and experimental toxicology and allergology. *Journal of Bioanalysis & Biomedicine*. 7(5): 95.

[Orekhov, Gradov, 2016a](#) – Orekhov T.C., Gradov O.V. (2016). Hybridization of COBAC, QSPR/QSAR and SBGN technologies: The unity of theory and practice for biomedical technique design and biochemical diagnostic information analysis. *Journ. Med. Bioeng.* 5(2): 128-132.

[Orekhov, Gradov, 2016b](#) – Orekhov F.K., Gradov O.V. (2016). Comparative labs-on-a-chip for dairy product analysis with automatic calibration using spectrophotometric or colorimetric temperature and tuple chemometric analyte systematization. *J Adv Dairy Res*. 4(2 (Suppl.)): 24.

[Peacock, 1985](#) – Peacock K. (1985). Kaiser-Bessel weighting of the Hilbert transform high-cut filte. *IEEE transactions on acoustics, speech, and signal processing*. T. 33. N^o 1. Pp. 329-331.

[Pradewi, 2012](#) – Pradewi E.D. (2012). Kajian Estimasi-M IRLS Menggunakan Fungsi Pembobot Huber Dan Bisquare Tukey Pada Data Ketahanan Pangan di Jawa Tengah. *Media Statistika*. T. 5. N^o 1. Pp. 1-10.

[Püschel, Rtteler, 2008](#) – Püschel M., Rtteler M. (2008). Algebraic signal processing theory: Cooley–Tukey type algorithms on the 2-D hexagonal spatial lattice. *Applicable Algebra in Engineering, Communication and Computing*. T. 19. N^o. 3. Pp. 259-292.

[Putra, Nio, 2015](#) – Putra S., Nio H. (2015). Pemodelan geographically weighted Poisson regression semiparametric (GWPRS) dengan fungsi pembobot fixed gaussian dan bisquare kernel. *Jurnal Mahasiswa Statistik*. T. 3. N^o 1. Pp. 29-32.

[Rahi and Mehra, 2014](#) – Rahi P.K., Mehra R. (2014). Analisis of power spectrum estimation using Welch method for various window techniques. *International Journal of Emerging Technologies and Engineering*. T. 2. N^o 6. Pp. 106-109.

[Rakhmasanti et al., 2013](#) – Rakhmasanti L.A., Nugroho W.H., Sumarminingsih E. (2013). Kajian model regresi logistik dan geographically weighted logistic regression (GWLRL) dengan fungsi pembobot adaptive gaussian kernel dan gwlr dengan fungsi pembobot bisquare kernel. *Jurnal Mahasiswa Statistik*. T. 1. N^o 4. Pp. 293-296.

[Ranganadh et al., 2011](#) – Ranganadh N., Patel P., Grigoryan A.M. (2011). Performances of Texas instruments DSP and Xilinx FPGAs for Cooley-Tukey and Grigoryan FFT algorithms. *Journal of Engineering and Technology*. 1(2): 83.

[Ranganadh, rao Dhanavath, 2013](#) – Ranganadh N., rao Dhanavath N. (2013). A TMS DSP processor based case study of Grigoryan FFT performance over Cooley-Tukey FFT(TMS320C5416, TMS320C5515). *Asian Journal of Curernt Engineering and Maths*. T. 2. N^o. 1. pp. 50-52.

[Ray, Dhar, 2014](#) – Ray K.C., Dhar A.S. (2014). CORDIC-Based VLSI Architecture for Implementing Kaiser-Bessel Window in Real Time Spectral Analysis. *Journal of Signal Processing Systems*. T. 74. N^o 2. Pp. 235-244.

[Ray, Ray, 1995](#) – Ray B.K., Ray K.S. (1995). Corner detection using iterative Gaussian smoothing with constant window size. *Pattern recognition*. T. 28. N^o. 11. Pp. 1765-1781.

[Reddy, 2006](#) – Reddy G.H., Reddy Y.V., Reddy S.N. (2006). The Effect of b in Kaiser Window on The SNR of MST Radar Signals. *Proceedings of the National conference on MST Radar and Signal Processing, SV University, Tirupati*. Pp. 24-25.

[Regeth, Stine, 1996](#) – Regeth R.A., Stine W.W. (1996). The bisquare weighted analysis of variance: A technique for nonnormal distributions. *Group*. T. 1. N^o. 21. P. 22.

[Regeth, Stine, 1998](#) – Regeth R.A., Stine W.W. (1998). Comparing means from nonnormal distributions: The bisquare-weighted analysis of variance. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*. T. 30. N^o 4. Pp. 707-712.

[Schoonover et al., 2013](#) – Schoonover R.W., Wang K., Anastasio M.A. (2013). Iterative image reconstruction in photoacoustic tomography using Kaiser-Bessel windows. SPIE BiOS. – International Society for Optics and Photonics, pp. 85814X-85814X-9.

[Shara et al., 2013](#) – Shara Y., Pramoedyo H., Mitakda M.B. (2013). Pemodelan geographically weighted regression dengan pembobot fixed bisquare kernel pada data spasial. *Jurnal Mahasiswa Statistik*. T. 1. No 3. Pp. 181-184.

[Shirasaki, 1997](#) – Shirasaki H. (1997). Approximate step analysis of linear and raised cosine tapered microstrip lines by using a waveguide model. *Electronics and Communications in Japan (Part II: Electronics)*. T. 80. No. 12. Pp. 57-63.

[Singh et al., 2012](#) – Singh S., Kumar M., Prasad S. (2012). Analysis of roll-off-factor to reduce the papr in sc-fdma system. *International Journal of Computational Intelligence Techniques*. T. 3. No 2. P. 76.

[Smith, 1970](#) – Smith A.D. (1970). Comments on " Subjective or Psophometric Audio Noise Measurement: A Review of Standards". *Journal of the Audio Engineering Society*, 18(6): 677-677.

[Tian et al., 2014](#) – Tian W. et al. (2014). Estimation of Harmonics Parameters Base on Dolph-Chebyshev Window Interpolation FFT Algorithm. *Proceedings of the CSU-EPISA*. T. 2. P. 009.

[Timashev et al., 2008](#) – Timashev S.F., Zagaynov V.A., Lushnikov A.A., Biryukov Y.G., Agranovskii I.E., Lamukhin E.M. (2008). Flicker noise spectroscopy in an analysis of the dynamics of atmospheric aerosol. *Russian Journal of Physical Chemistry A, Focus on Chemistry*, 82(10), 1756-1768.

[Timashev et al., 2009](#) – Timashev S.F., Polyakov Y.S., Yulmetyev R.M., Demin S.A., Panischev O.Y., Shimojo S., Bhattacharya J. (2009). Analysis of biomedical signals by flicker-noise spectroscopy: identification of photosensitive epilepsy using magnetoencephalograms. *Laser physics*, 19(4): 836-854.

[Timashev, 2006](#) – Timashev S.F. (2006). Flicker noise spectroscopy and its application: Information hidden in chaotic signals. *Russian Journal of Electrochemistry*, 42(5): 424-466.

[Timashev, 2008](#) – Timashev S.F., Polyakov Y.S. (2008). Analysis of discrete signals with stochastic components using flicker noise spectroscopy. *International Journal of Bifurcation and Chaos*, 18(09): 2793-2797.

[Timashev, Polyakov, 2008](#) – Timashev S.F., Polyakov Y.S. (2007). Review of flicker noise spectroscopy in electrochemistry. *Fluctuation and Noise letters*, 7(02): R15-R47.

[Timashev, Vstovskii, 2003](#) – Timashev S.F., Vstovskii G.V. (2003). Flicker-noise spectroscopy for analyzing chaotic time series of dynamic variables: Problem of signal-to-noise relation. *Russian Journal of Electrochemistry*, 39(2): 141-153.

[Trivedi, Lever, 1970](#) – Trivedi M., Lever K.V. (1970). Measured performance of Dolph-Chebyshev data-window circuits. *IEEE Journal on Electronic Circuits and Systems*. T. 3. No 2. Pp. 49-52.

[Tuan, Chou, 2011](#) – Tuan S.C., Chou H.T. (2011). Time domain analysis for ellipsoidal reflector antennas illuminated by a cosine-tapered and transient-step feed's radiation. *Electromagnetics, Applications and Student Innovation (iWEM), 2011 IEEE International Workshop on. IEEE, 2011*. Pp. 201-205.

[Vebiriyana et al., 2015](#) – Vebiriyana M., Darsyah M.Y., Nur I.M. (2015). Pemodelan geographically weighted regression dengan fungsi kernel bisquare terhadap faktor-faktor yang mempengaruhi tingkat kemiskinan di kabupaten demak. *Jurnal Statistika*. T. 3. No 1.

[Voronenko, Puschel, 2009](#) – Voronenko Y., Puschel M. (2009). Algebraic signal processing theory: Cooley–Tukey type algorithms for real DFTs. *IEEE Transactions on Signal Processing*. T. 57. No 1. Pp. 205-222.

[Weik et al., 2001](#) – Weik M.H. (2001). Psophometer. *Computer Science and Communications Dictionary*. Pp. 1364-1364.

[Wilms, 1970](#) – Wilms H.A. (1970). Subjective or psophometric audio noise measurement: a review of standards. *Journal of the Audio Engineering Society*. 18(6), 651-656.

[Wonnacott et al., 1961](#) – Wonnacott T.H. (1961). Spectral analysis combining a Bartlett window with an associated inner window. *Technometrics*. T. 3. No. 2. Pp. 235-243.

[Wu et al., 2012](#) – Wu S.D. et al. (2012). A novel gaussian window approach for empirical mode decomposition. *Advanced Materials Research. Trans Tech Publication*. T. 457. Pp. 274-277.

[Xiaoming et al., 2011](#) – Xiaoming Y., Yujian J., Yonghong L. (2011). MATLAB simulation and analysis of the Welch method in the classical power spectrum estimation. *Electronic Test*. T. 7. Pp. 029.

Xu et al., 2007 – Xu H., Zhou Y., Huang Z. (2007). Blind roll-off factor and symbol rate estimation using IFFT and least squares estimator. *Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, 2007. WiCom 2007. International Conference on. IEEE*. Pp. 1052-1055.

Xu et al., 2016 – Xu W., Liu K., Wang L. (2016). Estimation of the Power Spectrum of Heart Rate Variability Using Improved Welch Method to Analyze the Degree of Fatigue. *Sheng wu yi xue gong cheng xue za zhi = Journal of biomedical engineering= Shengwu yixue gongchengxue zazhi*. T. 33. №. 1. P. 67.

Yao et al., 2014 – Yao W., Teng Z., Tang Q., Zuo P. (2014). Adaptive Dolph–Chebyshev window-based S transform in time-frequency analysis. *IET Signal Processing*, 8(9): 927-937.

Yue et al., 2015 – Yue L., Kong D., Li Y., Zang J., Wu J. (2015). Investigation on Pulse-width and Roll-off Factor of Sampling Pulses in Coherent Matched Sampling of a Nyquist Optical Time-division Multiplexed Signal. *Asia Communications and Photonics Conference* (pp. AS3F-3). Optical Society of America.

Zhao, He, 2013 – Zhao L., He Y. (2013). Power spectrum estimation of the Welch method based on imagery EEG. *Applied Mechanics and Materials. Trans Tech Publications*, T. 278. Pp. 1260-1264.

Псофометрический и девиометрический подходы к фильтрационному анализу электрокардиографического сигнала

Евгений Денисович Адамович ^a

^aМосковский педагогический государственный университет, Москва, Российская Федерация

Аннотация. В настоящей статье предлагается новый метод анализа электрокардиограмм, согласованного с частотным диапазоном. В качестве аппаратного прототипа предлагается использовать прибор для фильтрационных измерений – псофометр. В линии с ним может работать девиометр, который для данной системы измерений может измерять величину отклонения. Подход данной статьи является альтернативным к подходу ранее опубликованных с участием автора работ по ЭКГ с дискретным символьным декодированием и объясняет причину его отказа от работ в последнем направлении.

Ключевые слова: псофометр, девиометр, электрокардиограмма, фильтрация сигнала.