

УДК 004.021:004.75

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАММ



П.Ю. Бранцевич

Докторант, кандидат технических наук, доцент
branc@bsuir.edu.by

П.Ю. Бранцевич

С 1985 года работал в области разработки архитектуры, методов, алгоритмов и программного обеспечения компьютерных систем и комплексов для определения метрологических характеристик виброизмерительных преобразователей и виброустановок, решения задач вибрационного контроля, мониторинга, диагностики и автоматизации защиты многоопорных механизмов с вращательным движением. Разработал математическое и программное обеспечение компьютерных систем поддержки принятия решений по оценке технического состояния сложных механизмов и агрегатов по вибрационным параметрам и характеристикам. Автор трех монографий. Являлся научным руководителем и исполнителем четырех заданий Государственной научно-технической программы (ГНТП) «Энергетика», двух заданий ГНТП «Защита от чрезвычайных ситуаций», четырех заданий ГПНИ «Диагностика», более ста хозяйственных договоров.

Аннотация. Медицинская и технической диагностика, как набор правил, методов, алгоритмов, которые позволяют принять решение о состоянии наблюдаемого объекта или субъекта имеют много общего. Создание новых и совершенствование уже существующих методов оценки состояния человека является важным направлением медицинских исследований. Несомненный научный интерес представляет исследование нейронной сети головного мозга человека с использованием электроэнцефалограмм, представляющих собой сложные цифровые сигналы. В настоящее время для лечения резистентных форм психических и поведенческих расстройств применяется метод электросудорожной терапии. Актуальным является определение информативно-значимых параметров ЭЭГ, которые свидетельствовали бы об её изменении по результатам ЭСТ. Представлены результаты некоторых способов цифровой обработки временных реализаций электроэнцефалограмм, примененных для для сравнительного анализа ЭЭГ, полученных до и после проведения сеансов ЭСТ.

Ключевые слова: сигнал, электроэнцефалограмма, параметр, характеристика, цифровая обработка, решение.

Введение.

Медицинская диагностика, как набор правил, методов и решений, которые позволяют прийти к заключению о наличии или вероятности наличия у человека того или иного заболевания, имеет много общего с технической диагностикой [1]. Разработка новых и совершенствование уже существующих методов оценки состояния и лечения человека является важным направлением медицинских исследований. Поэтому применение разнообразных способов обработки параметров и характеристик человеческого организма и формализация систем принятия решений являются весьма актуальными. Вычислительная и информационная мощность современных технических средств, в том числе и мобильных, позволяет существенно расширить подходы к решению разнообразных задач, связанных с обработкой длинных реализаций разнообразных сигналов.

В результате научных исследований выяснено, что основным функциональным элементом мозга является нейрон [2]. Однако вопрос оценки результативности взаимодействия нейронов головного мозга остается проблемным. Можно предположить гипотезу, что устройство головного мозга представляет собой ядро и окружающую его оболочку. Базовое состояние ядра даётся человеку от рождения. Деятельность ядра головного мозга определяет наши способности и осуществляет верховное управление.

Вторая часть мозга – это самообучаемая нейронная сеть, которая имеет возможность реконфигурироваться, получать, накапливать информацию и производить настройку обрабатывающих функций и коэффициентов передачи для сигналов, поступающих через дендриты и синапсы в нейрон, формируя, тем самым, для данного момента времени систему принятия решений, сущность которых зависит от окружающего пространства и состояния организма, информацию о которых передают в нейронную сеть первичные человеческие преобразователи информации. Все действия и ощущения, которые получает и воспроизводит человек есть сущность и отражение решений, принимаемых нейронной сетью головного мозга. Самообучение нейронной сети производится эмпирически, или под целенаправленным воздействием, в том числе и по желанию нейронной сети, т.е. принятых ею решений на проведение определённых действий по получению новой информации.

Если следовать данной модели, то можно аргументировать вывод, что поведение человека обуславливается первоначальной настройкой нейронной сети головного мозга, и последующей реконфигурацией самообучаемой, многоуровневой, объёмной нейронной сети его головного мозга, происходящей по мере получения новой или переработки имеющейся информации.

Работа мозга сопровождается изменением электромагнитного поля, которое можно зафиксировать специальными первичными преобразователями и преобразовать в виде изменяющихся параметров тока или напряжения, что и происходит, когда снимают электроэнцефалограмму [3]. Электроэнцефалограмма головного мозга (ЭЭГ) – процедура, которая проводится для определения электрической активности головного мозга для выявления очагов повышенной судорожной готовности его коры, что характерно для: эпилепсии; опухолей; состояний после перенесенного инсульта; структурных и метаболических энцефалопатий; расстройств сна и других заболеваний. Электроэнцефалограмма показывает симптомы нарушения работы головного мозга, позволяет оценить характер отклонений и степень их распространенности [4-6].

Электроэнцефалограмма, как цифровой сигнал.

Электроэнцефалограмма отражает колебания напряжения в результате ионного тока в нейронах головного мозга и является электрическим сигналом, как результатом спонтанной электрической активности мозга в течение определенного периода времени, записанной с нескольких электродов на мозге или поверхности скальпа. Стандартной системой размещения электродов на поверхности головы, рекомендованной Международной федерацией электроэнцефалографии и клинической нейрофизиологии является система «10–20%» [6].

Результатом ЭЭГ являются цифровые сигналы, к которым исследуют с помощью методов цифровой обработки сигналов (ЦОС) [7-8].

Наиболее распространен спектральный метод исследования сигналов ЭЭГ, в ходе которого анализируется мощность сигнала в частотных полосах, называемых: альфа (8-13 Гц); бета (13-35 Гц); гамма (35-70 Гц); дельта (0.3-4 Гц); тэта (4-8 Гц) [5-6].

При этом, в большинстве случаев вычисление амплитудного спектра производится на 1024-х или меньшем количестве дискретных точек [9-10], что приводит к достаточно грубому частотному разрешению. Однако, в настоящее время для исследования электроэнцефалограмм в режиме реального времени можно применить и другие способы обработки для выявления новых параметров и информативно-значимых признаков. Это цифровая фильтрация, вейвлет обработка, преобразование Гильберта-Хуанга, гистограммы распределения, разложение сигнала на детерминированные и шумоподобные компоненты, построение временных трендов и их обработка [11].

На рис.1 показан один из сигналов ЭЭГ (отведение FP2-АА), а на рис. 2 его амплитудный спектр, вычисленный для частотного разрешения 0.03 Гц.

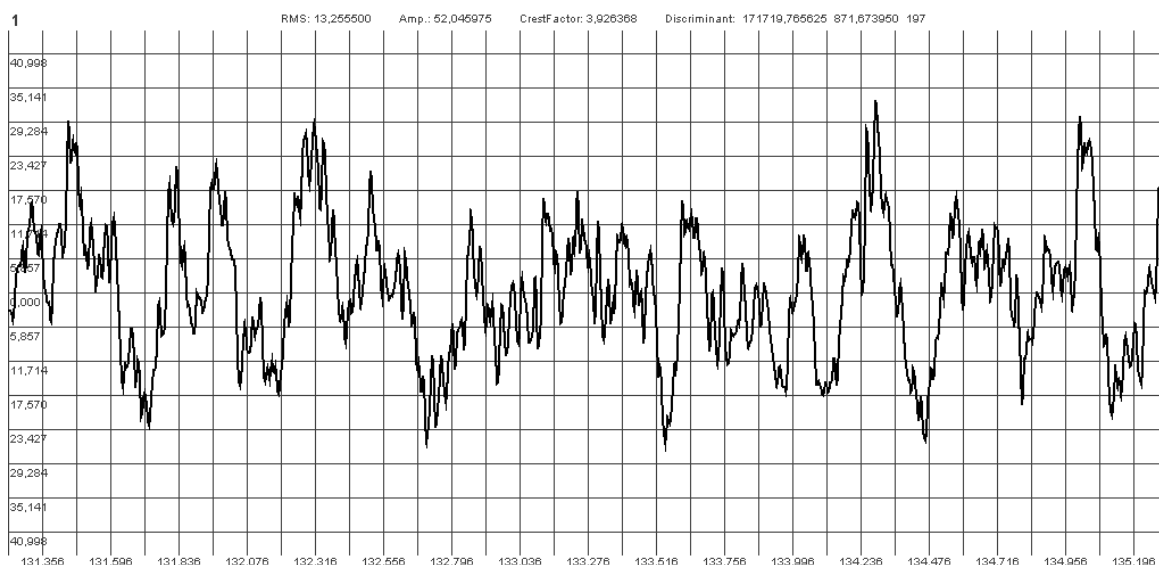


Рисунок 1. Сигнал ЭЭГ, полученный при частоте дискретизации 250 Гц

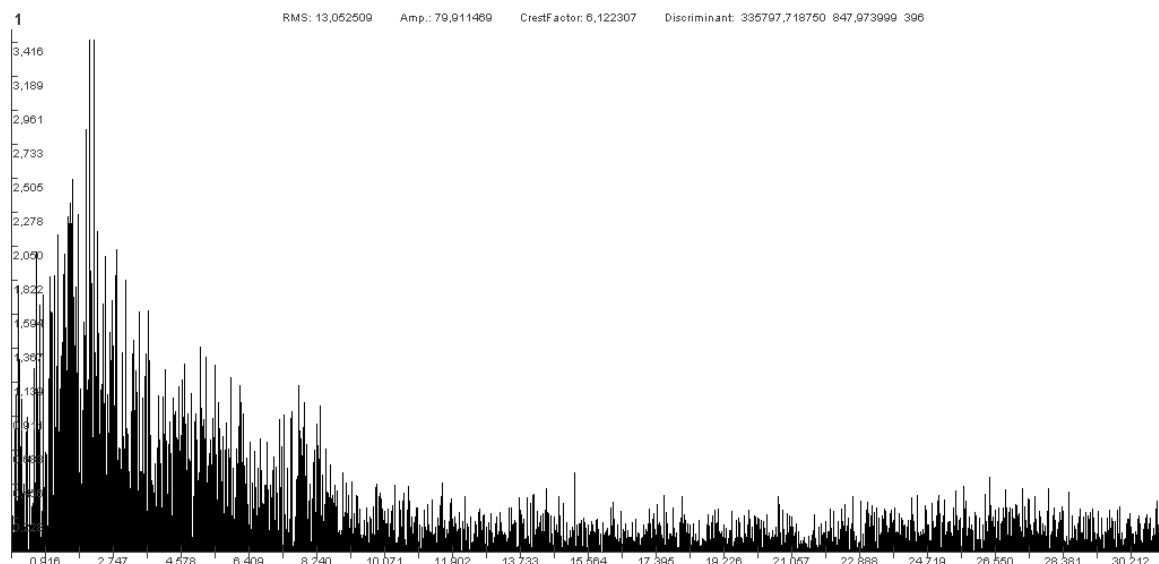


Рисунок 2. Амплитудный спектр сигнала ЭЭГ на временном интервале 32,768 с.

Проведенные исследования сигналов ЭЭГ показали, что изменение частотного разрешения спектрального анализа приводит к изменению структуры их амплитудных спектров, что свидетельствует о случайном характере сигналов ЭЭГ[12]. При этом на определенных временных интервалах анализа гистограмма распределения сигнала ЭЭГ по уровням близка к нормальному закону распределения (рис. 3).

Полосовой спектр данного сигнала для диапазонов альфа (8-13 Гц); бета (13-35 Гц); гамма (35-70 Гц); дельта (0.3-4 Гц); тэта (4-8 Гц) приведен на рис. 4.

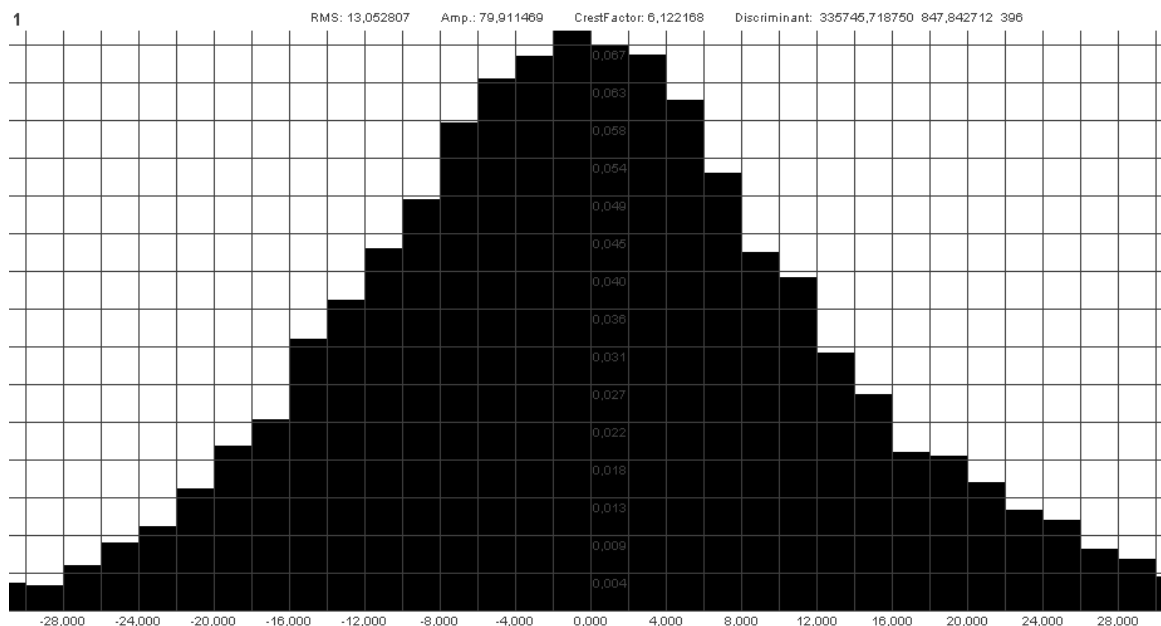


Рисунок 3. Гистограмма распределения по уровням сигнала ЭЭГ на временном интервале 32,768 с.

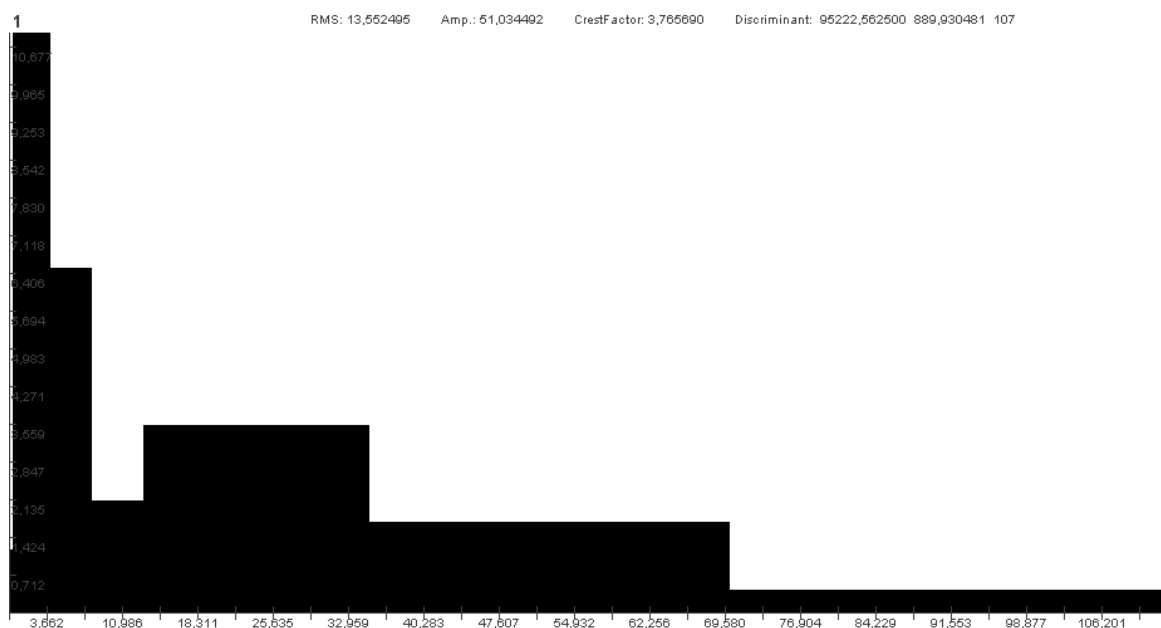


Рисунок 4. Полосовой спектр сигнала ЭЭГ на временном интервале 8,192 с.
Границы частотных полос 0,3, 4, 8, 13, 35, 70, 125 Гц

Число заболеваний, которые приводят к изменениям ЭЭГ человека достаточно велико. Наиболее часто с её помощью диагностируют эпилепсию. Данный недуг является очень опасным и проявляется в приступах и судорогах, во время которых больной теряет сознание.

Электросудорожная терапия.

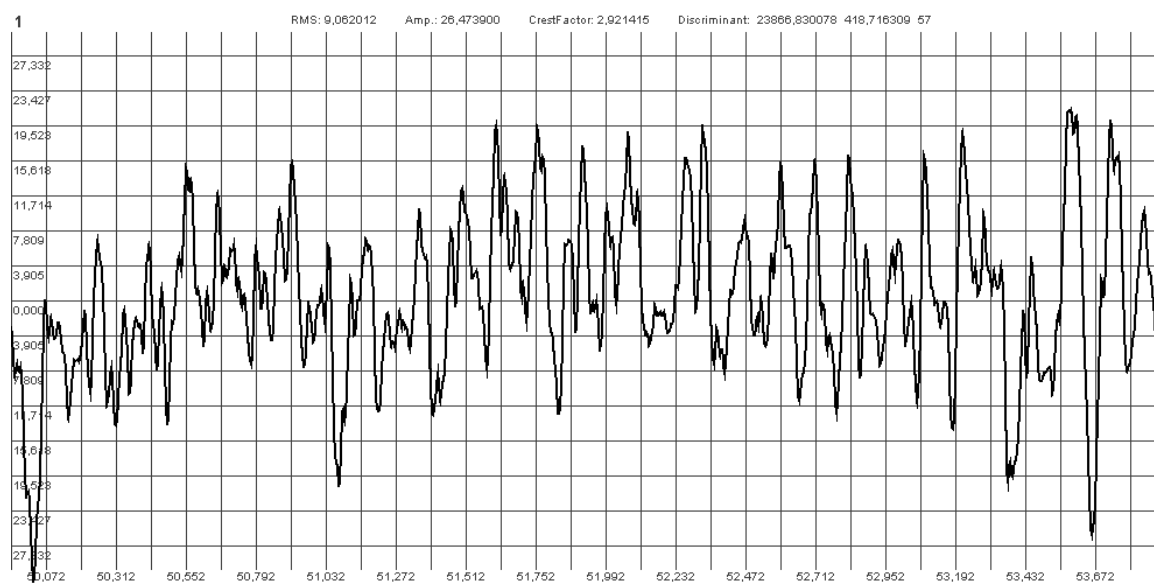
Электросудорожная терапия (ЭСТ), иначе называемая электроконвульсивной терапией (ЭКТ), ранее известная как электрошок (ЭШ) или электрошоковая терапия (ЭШТ), – метод психиатрического и неврологического лечения, при котором эпилептиформный большой судорожный приступ вызывается пропусканием электрического тока через головной мозг

пациента с целью достижения лечебного эффекта [13]. ЭСТ можно использовать, только если другие мероприятия, например, лекарства и психотерапия, не дали результата [14].

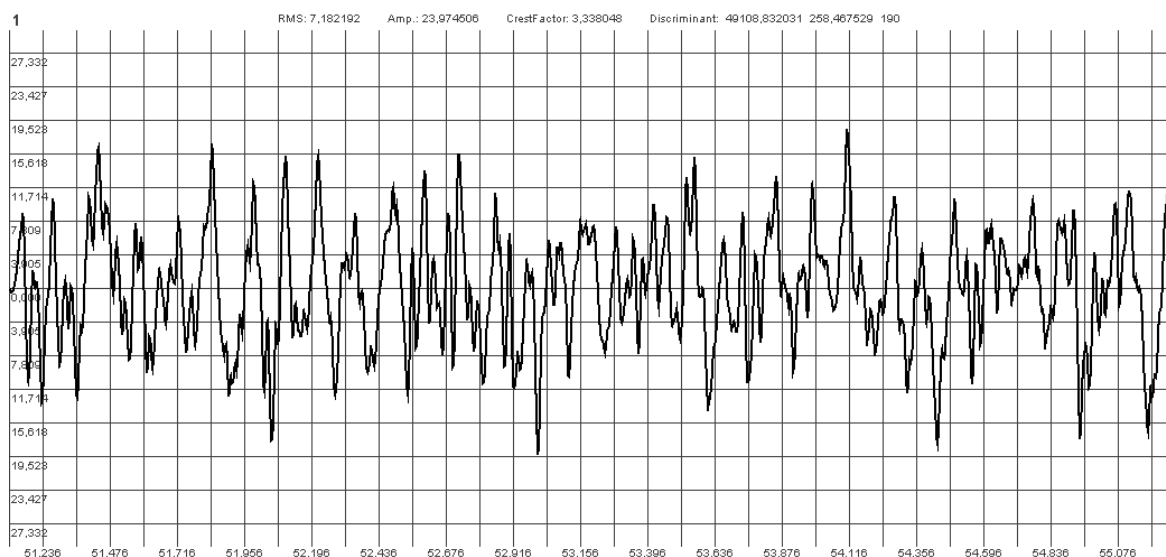
Нейронная сеть головного мозга человека подвергается сильному воздействию, однако пока не существует объективных информативно-значимых признаков на основе анализа ЭЭГ, которые показывали бы эффективность проведенных процедур ЭСТ. В данной работе предпринята попытка проведения сравнительного анализа ЭЭГ, полученных до и после проведения сеансов ЭСТ.

Сравнительный анализ ЭЭГ.

Рассмотрим сигналы ЭЭГ (отведение О1-АА), полученные при обследовании пациента до и после ЭСТ, рис.5.



а) до процедуры ЭСТ



б) после процедуры ЭСТ

Рисунок 5. Отрезки сигналов ЭЭГ, отведение О1-АА

Оценить изменчивость сигнала ЭЭГ можно анализируя временной тренда её параметров [15]. Параметры среднеквадратическое значение (СКЗ), пик-фактор, эксцесс,

асимптота вычислялись на 1024 точках, что при частоте дискретизации 250 Гц соответствует временному интервалу 4,096 с. Шаг по времени – одна секунда. На рис. 6 показаны временные тренды указанных параметров.

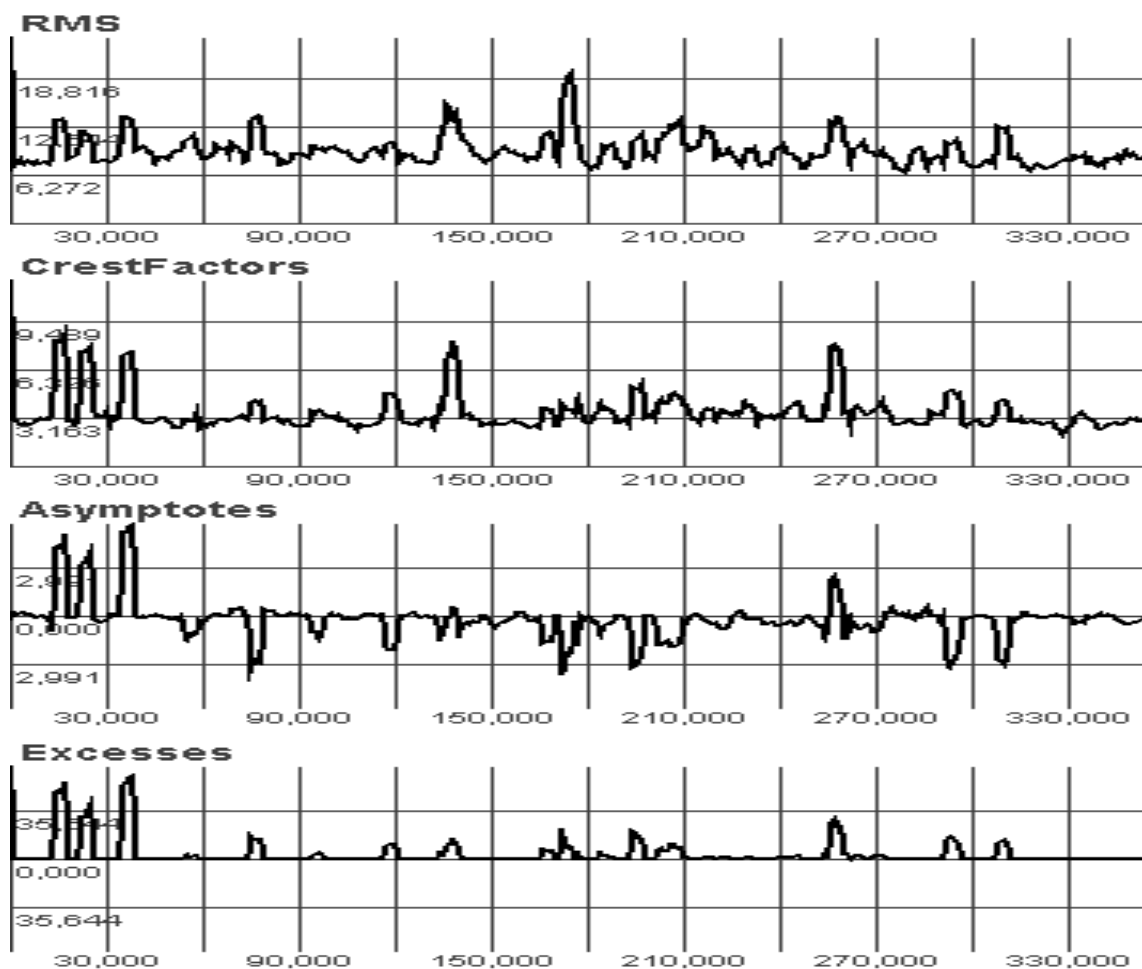


Рисунок 6. Временные тренды параметров сигнала ЭЭГ до ЭСТ.
Ось абсцисс – время, с. Ось ординат – значение параметра

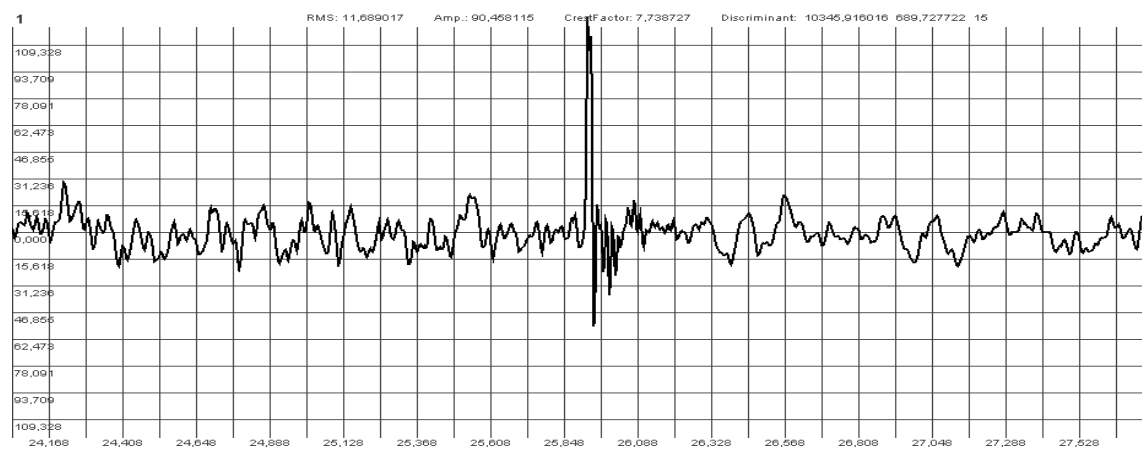


Рисунок 7. Отрезок временной реализации сигнала ЭЭГ с артефактом до ЭСТ

Амплитудные всплески параметров на временном тренде являются отражением возмущений на сигнале ЭЭГ (см. рис. 7). Следовательно, анализируя временные тренды можно локализовать ряд артефактов на сигналах ЭЭГ.

На рис. 8 показаны временные тренды указанных параметров ЭЭГ после проведения сеансов ЭСТ.

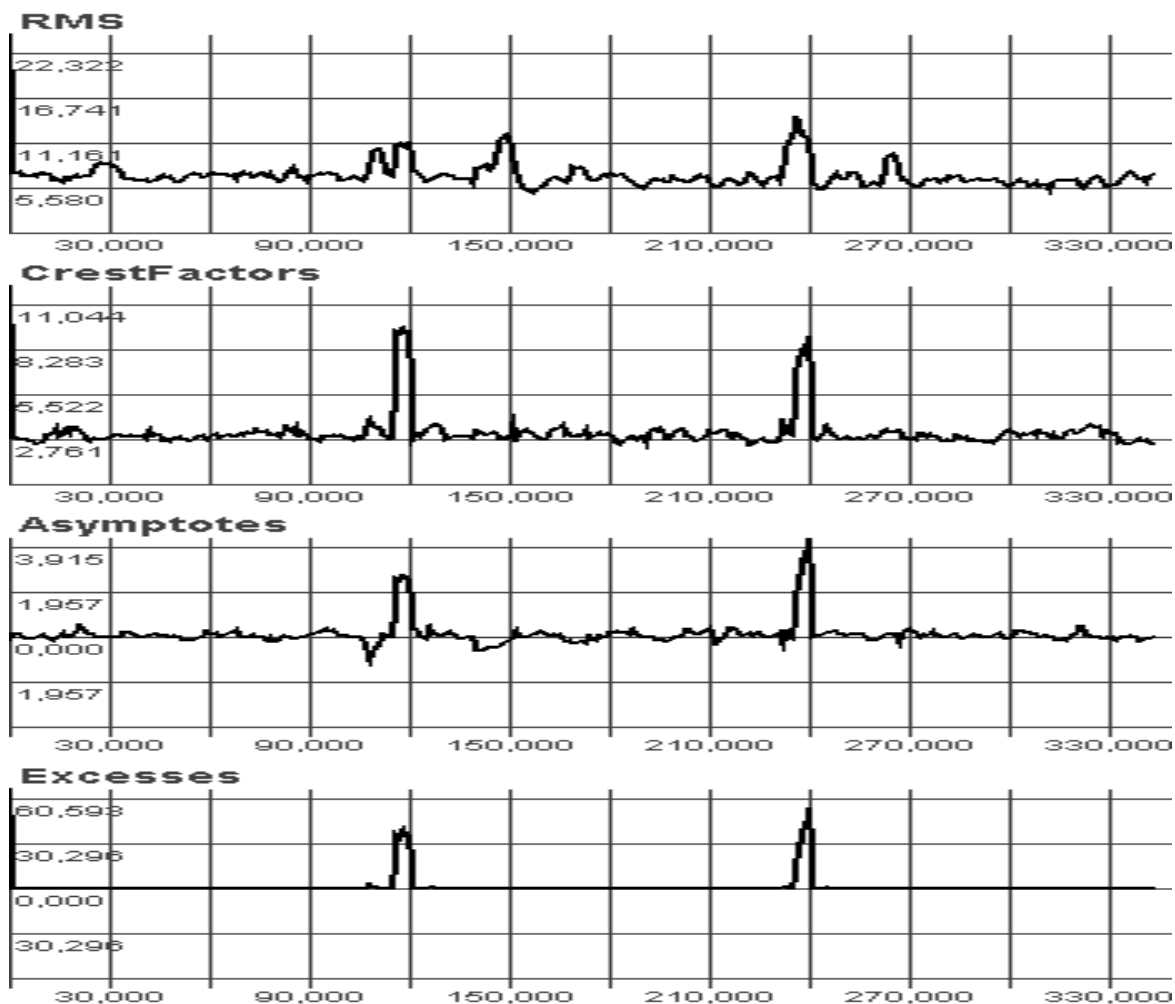


Рисунок 8. Временные тренды параметров сигнала ЭЭГ после ЭСТ.
Ось абсцисс – время, с. Ось ординат – значение параметра

Сравнивая временные тренды параметров одноименного сигнала ЭЭГ до и после процедур ЭСТ можно заметить, что вариативность параметров после ЭСТ значительно меньше, что свидетельствует о большей однородности исследуемого сигнала.

Представляет интерес изменение параметров сигнала в отдельных частотных полосах. Для выяснения данного вопроса можно сравнить изменение СКЗ сигналов ЭЭГ в частотных полосах альфа, бета, гамма, дельта, тэта (рис. 9-12).

На рис. 9-10 показаны полосовые спектры сигналов ЭЭГ до и после процедуры ЭСТ, а на рис. 11-12 временные тренды СКЗ сигналов ЭЭГ в частотных полосах альфа, бета, гамма, дельта, тэта

Заметно, что после ЭСТ произошло увеличение интенсивности сигнала в частотных полосах тэта и альфа относительно полосы дельта.

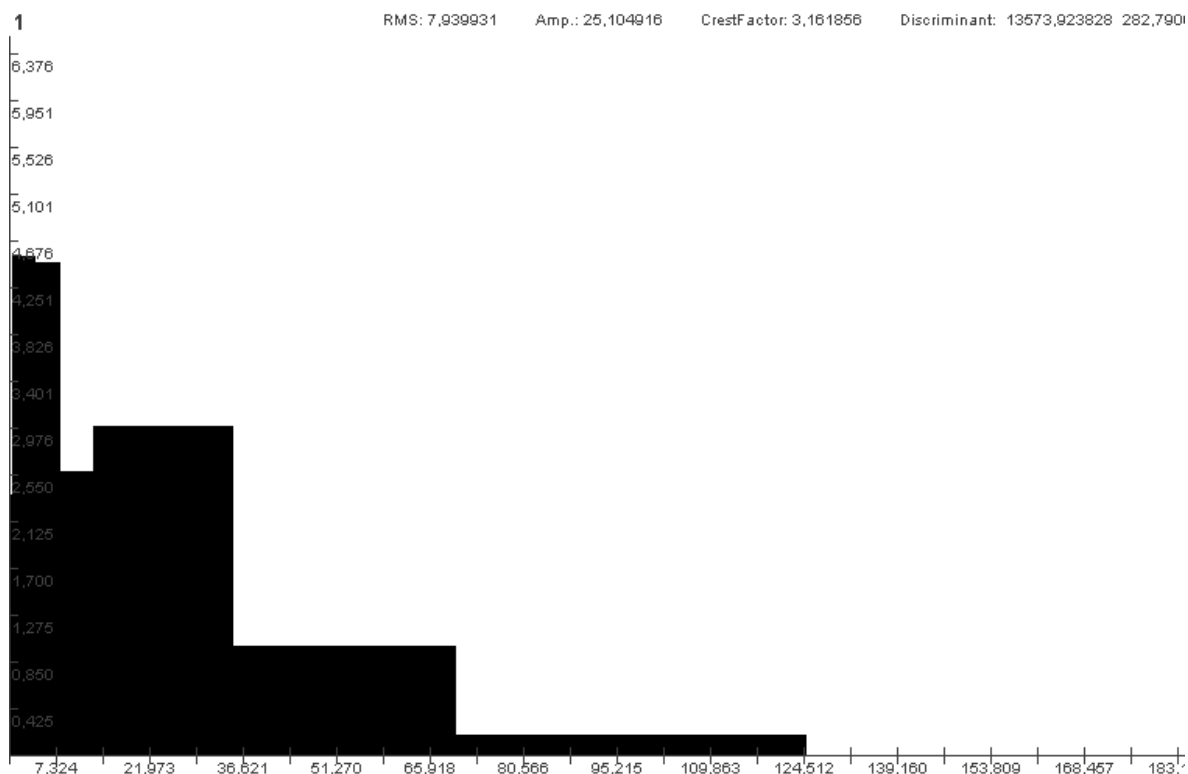


Рисунок 9. Полосовой амплитудный спектр сигнала ЭЭГ до ЭСТ

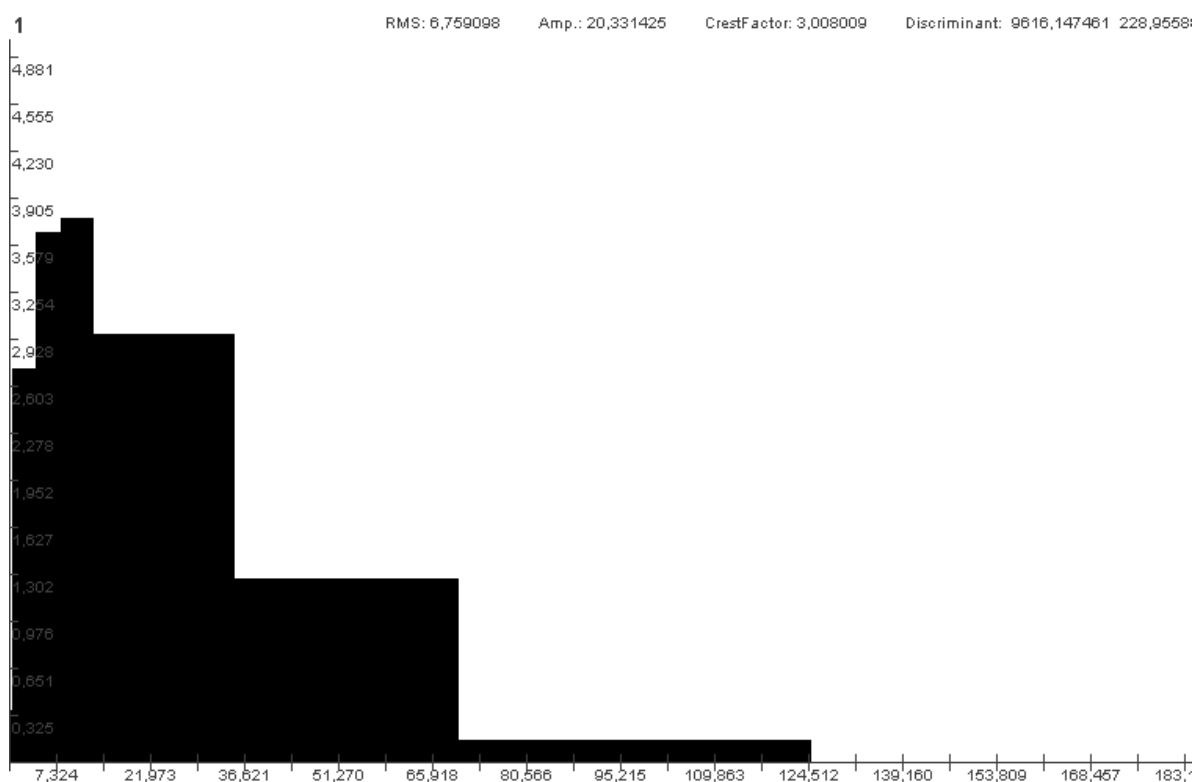


Рисунок 10. Полосовой амплитудный спектр сигнала ЭЭГ после ЭСТ

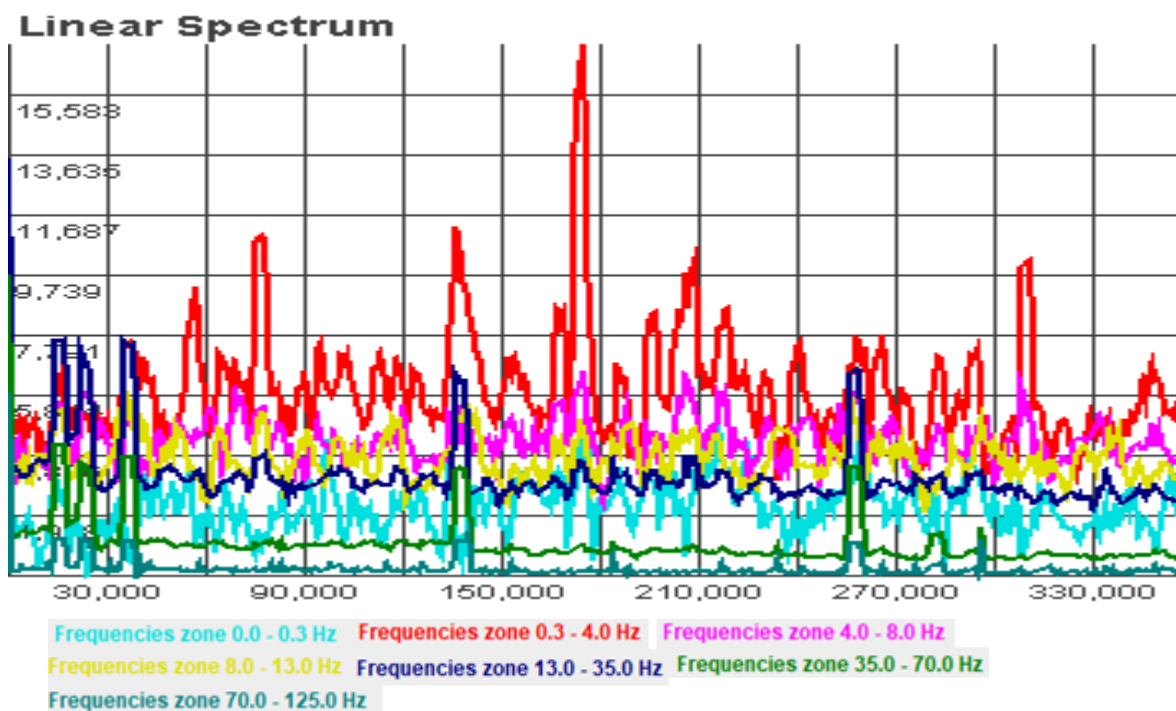


Рисунок 11. Временные тренды СКЗ в частотных полосах 0,3-4, 4-8, 8-13, 13-35, 35-70, 70-125 Гц сигнала ЭЭГ до ЭСТ

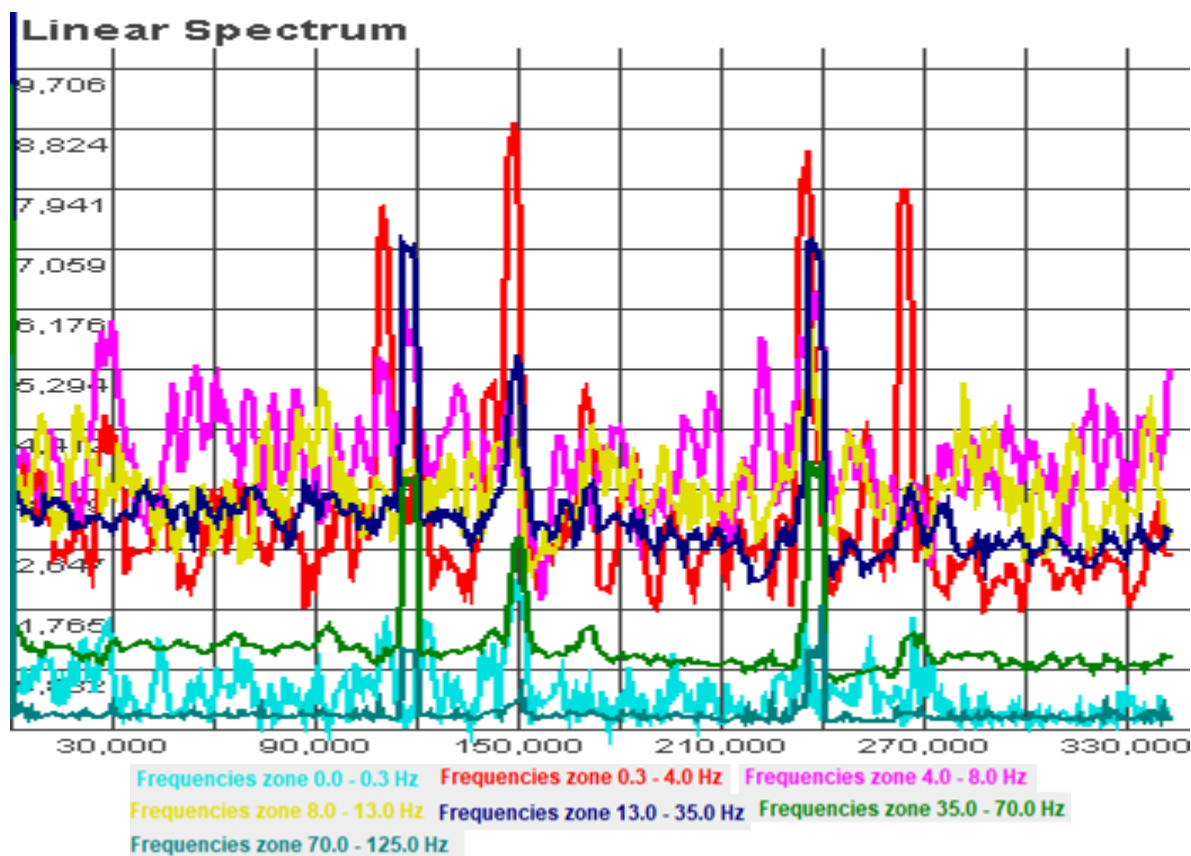


Рисунок 12. Временные тренды СКЗ в частотных полосах 0,3-4, 4-8, 8-13, 13-35, 35-70, 70-125 Гц сигнала ЭЭГ после ЭСТ

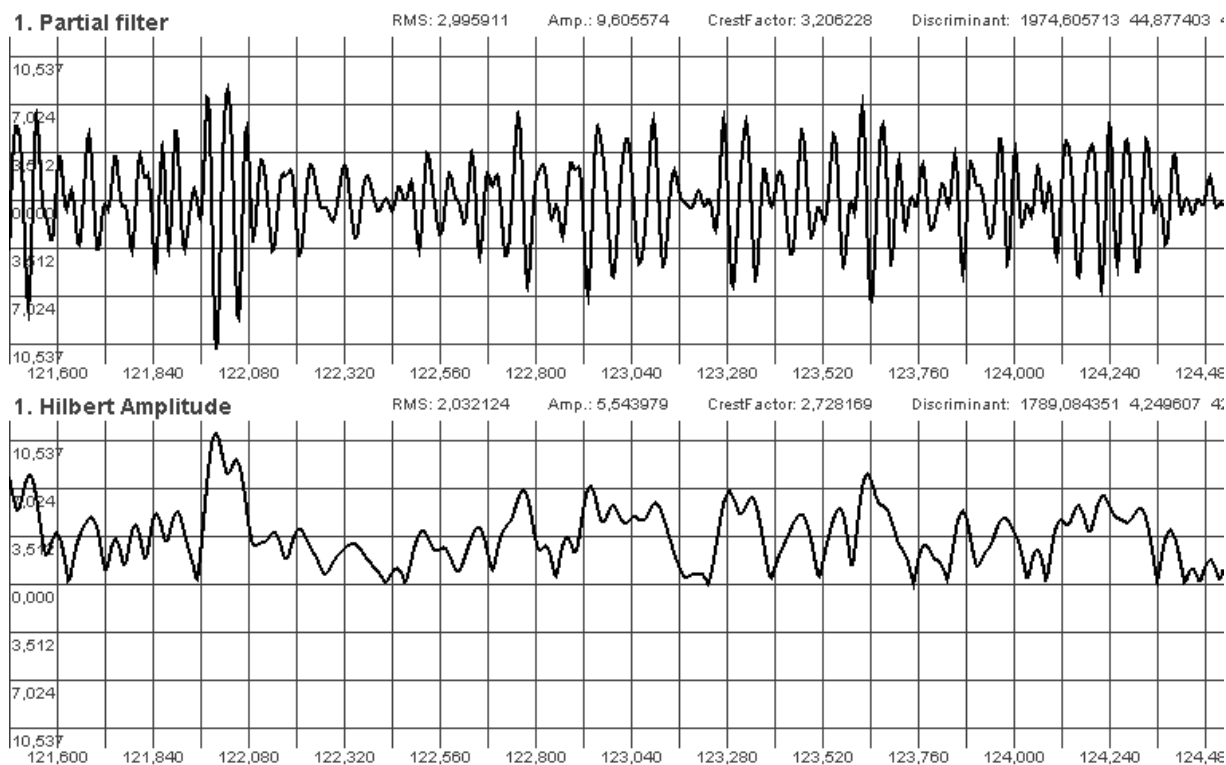


Рисунок 13. Временная реализация сигнала ЭЭГ в частотной полосе 13-35 Гц и её огибающая до ЭСТ

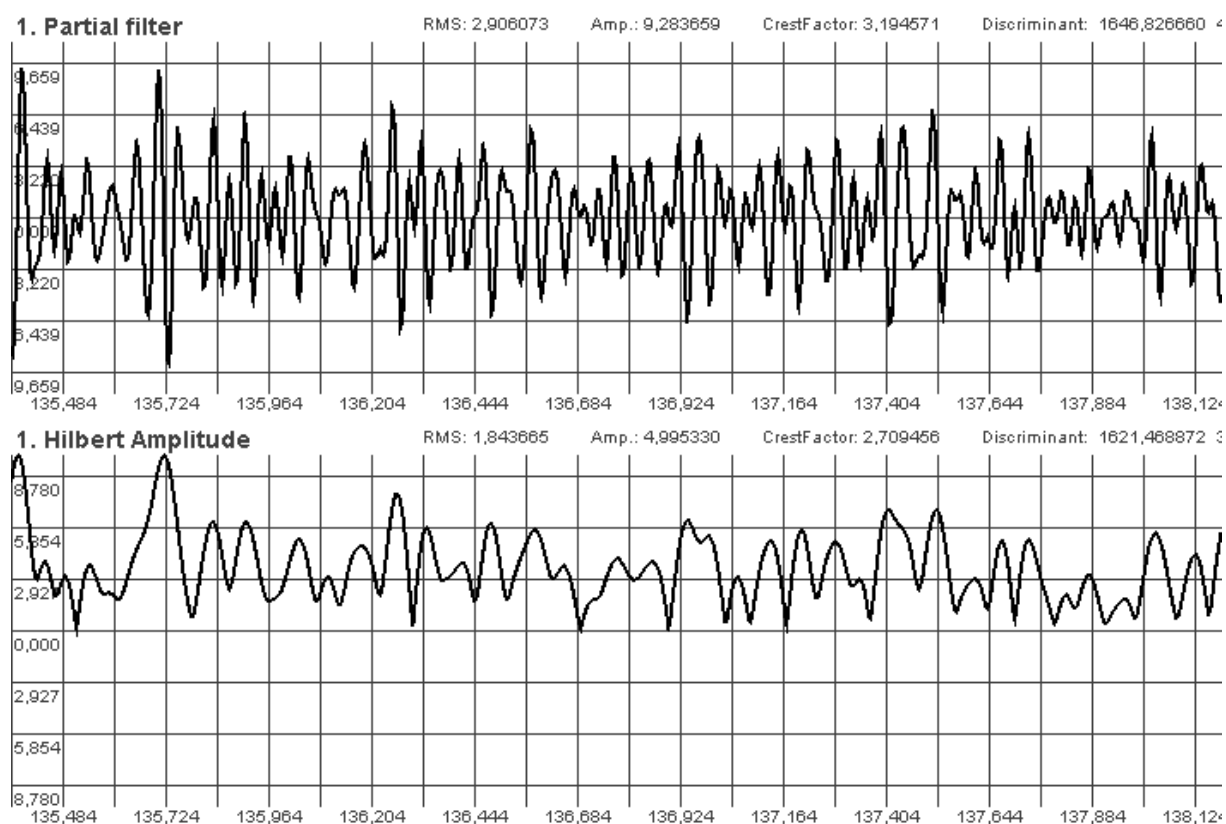
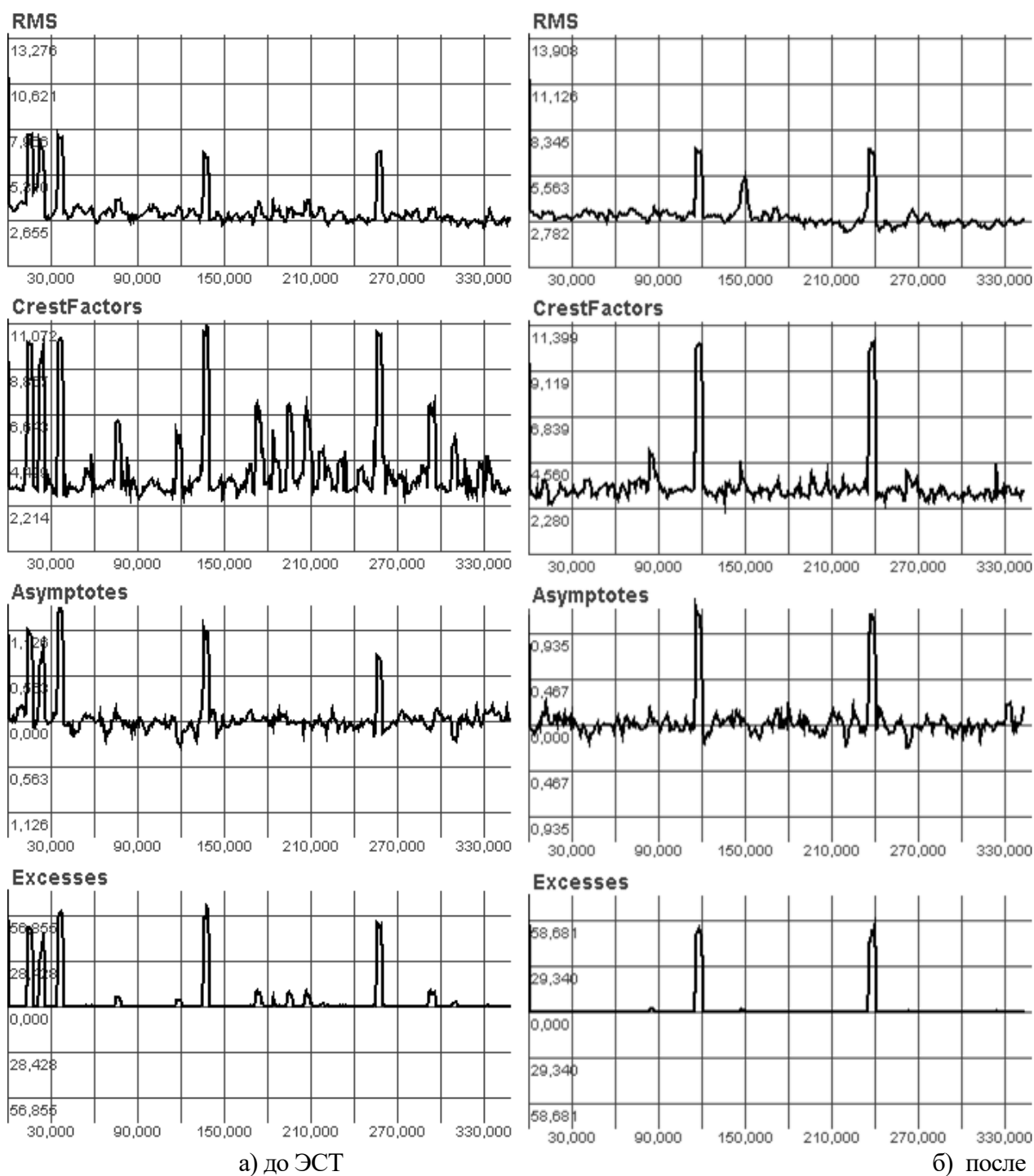


Рисунок 14. Временная реализация сигнала ЭЭГ в частотной полосе 13-35 Гц и её огибающая после ЭСТ



ЭСТ

Рисунок 15. Временные тренды параметров сигнала ЭЭГ в частотной полосе 13-35 Гц до и после ЭСТ. Ось абсцисс – время, с. Ось ординат – значение параметра

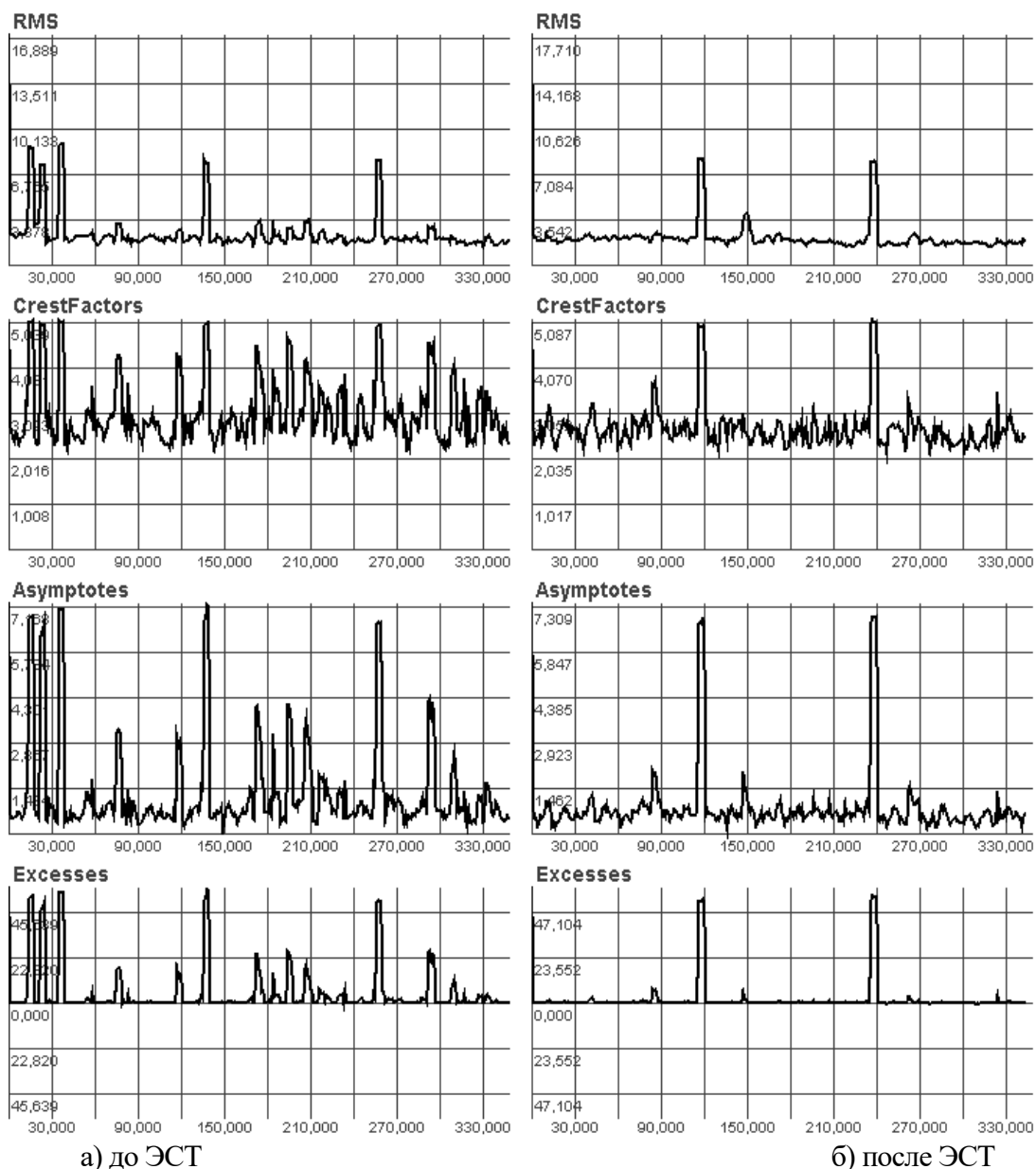


Рисунок 16. Временные тренды параметров огибающей сигнала ЭЭГ в частотной полосе 13-35 Гц до и после ЭСТ. Ось абсцисс – время, с. Ось ординат – значение параметра

Можно более детально исследовать параметры сигналов в отдельных частотных полосах. Предварительный анализ сигналов ЭЭГ показал, что достаточно существенные отличия сигналов ЭЭГ наблюдаются в частотной полосе 13-35 Гц. На рис. 13-14 представлены сигналы ЭЭГ в частотной полосе 13-35 Гц и их огибающие. Для этих сигналов вычислены временные тренды СКЗ, пик-фактора, эксцесса и асимптоты (рис. 15-16). Сравнение временных трендов параметров для сигналов ЭЭГ до процедуры ЭСТ и после показывает их существенное отличие.

Закключение.

По результатам исследования состояния нейронной сети головного мозга человека с использованием электроэнцефалограмм получают данные, которые впоследствии находят применение в медицинской практике. Представленные результаты обработки ЭЭГ позволяют сделать предположение о возможности определить группу информативно-значимых признаков, по которым можно будет делать обоснованное заключение об эффективности процедуры ЭСТ. Однако данная гипотеза требует подтверждения на большом объеме реальных данных. Также

следует учитывать, что рассмотрен только один из вариантов обработки сигналов ЭЭГ. Не менее интересные результаты могут быть получены с использованием вейвлетов или преобразования Гильберта-Хуанга [12].

Список литературы

- [1] Барков, А. В. Мониторинг и диагностика роторных машин по вибрации / А.В. Барков, А.Н. Баркова, А.Ю. Азовцев. – СПб.: Изд. центр СПбГМТУ, 2000. –
- [2] Осовский, С. Нейронные сети для обработки информации. Пер. с польского И. Д. Рудинского. – Москва: Финансы и статистика, 2002. – 344 с.
- [3] Павлова, Л. П. Доминанты деятельного мозга человека. Системный психофизиологический подход к анализу ЭЭГ / Л.П. Павлова. – СПб.: Информ-навигатор, 2017. – 430 с.
- [4] Зенков, Л. Р. Клиническая электроэнцефалография (с элементами эпилептологии) / Л. Р. Зенков. 2-е изд., испр. и доп. – М.: МЕДпресс-информ, 2002. – 368 с.
- [5] Доукина, Т.В. Визуальная и компьютерная ЭЭГ в клинической практике / Т. В. Доукина, Н. Н. Мисюк. – Минск: Книгзбор, 2011. – 187 с.
- [6] Татум, У.О. Клиническая интерпретация электроэнцефалографии / У.О. Татум. А.М. Хусейн, С.Р. Бенбадис, П.В. Каплан. Пер. с англ. – М.: Издательский дом БИНОМ. 2020. – 264 с.
- [7] Лайонс, Р. Цифровая обработка сигналов / Р. Лайонс. – М.: ООО «Бином-Пресс», 2006. – 656 с.
- [8] Айфичер, Э.С. Цифровая обработка сигналов: практический подход / Э.С. Айфичер, Б.У. Джервис. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2008. – 992 с.
- [9] Кулаичев, А.П. Компьютерная электрофизиология и функциональная диагностика / А.П. Кулаичев. – Москва: ИНФРА-М, 2018. – 469 с.
- [10] Электроэнцефалография: руководство / М. В. Александров [и др.]. Под ред. М. В. Александрова. 3-е изд., перераб. и доп. – Санкт-Петербург: СпецЛит, 2020. – 224 с.
- [11] Бранцевич, П. Ю. Цифровая обработка вибрационных сигналов / П. Ю. Бранцевич. – Минск: Бестпринт, 2022. – 297 с.
- [12] Бранцевич, П. Ю. Примеры цифровой обработки электроэнцефалограмм / П. Ю. Бранцевич // Медэлектроника–2022. Средства медицинской электроники и новые медицинские технологии: сб. науч. Ст. XIII Междунар. Науч.-техн. конф. (Республика Беларусь, Минск, 8-9 декабря 2022 года). – Минск: БГУИР, 2022. – С. 314-318.
- [13] Метод лечения резистентных форм психических и поведенческих расстройств с использованием электросудорожной терапии. Инструкция по применению / Доукина Т.В. [и др.]. Утв. М-вом здравоохранения Респ. Беларусь 20.01.2015. – Минск: Министерство здравоохранения РБ, 2015. – 11 с.
- [14] Бауэр, М. Клинические рекомендации Всемирной федерации обществ биологической психиатрии по биологической терапии униполярных депрессивных расстройств. Часть 3: Острое и продолженное лечение униполярных депрессивных расстройств по состоянию на 2013 год / Бауэр М., Пфенниг А., Северус Э., Вайбрау П.С., Ж. Анст, Мюллер Х.-Ю. от имени и по поручению Рабочей группы по униполярным депрессивным расстройствам / Современная терапия психических расстройств. – 2016. – № 2. – С. 27-40.
- [15] Вентцель, Е.С. Теория вероятностей и ее инженерные приложения / Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров. – Москва: Наука. Гл. ред. Физ.-мат. лит., 1988. – 480 с.

COMPARATIVE ANALYSIS OF ELECTROENCEPHALOGRAMS

P.J. Brancevich
Grand PhD courses

Educational institution "Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics", Republic of Belarus
E-mail: branc@bsuir.edu.by

Abstract. Medical and technical diagnostics, as a set of rules, methods, algorithms that allow you to make a decision about the state of the observed object or subject, have much in common. The creation of new and improvement of existing methods for assessing the human condition is an important area of medical research. Of undoubted scientific interest is the study of the neural network of the human brain using electroencephalograms, which are complex digital signals. Currently, the method of electroconvulsive therapy is used to treat resistant forms of mental and behavioral disorders. Relevant is the determination of informatively significant parameters of the EEG, which would indicate its change according to the results of ECT. The results of some methods of digital processing of temporal realizations of electroencephalograms used for comparative analysis of EEG obtained before and after ECT sessions are presented.

Keywords: signal, electroencephalogram, parameter, characteristic, digital processing, solution