

УДК 616.89-08:004.3:004.42:004.9

ЦИФРОВАЯ ОБРАБОТКА И СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАММ



П.Ю. Бранцевич
Докторант БГУИР,
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 автоматики защиты сложных механизмов и агрегатов с вращательным движением. С 1995 по 2019 годы научный руководитель НИЛ «Систем вибродиагностики» БГУИР. Более сорока измерительно-вычислительных комплексов вибрационного контроля и мониторинга внедрены и введены в промышленную эксплуатацию на предприятиях энергетики Беларуси. 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. Автор трех монографий.

Аннотация. Медицинская и технической диагностика имеют много общего при оценке состояния наблюдаемого объекта и принятии решений о характере реакции или воздействии на объект. Создание новых и совершенствование уже существующих методов оценки состояния человека является важным направлением медицинских и междисциплинарных исследований. Цифровая обработка электроэнцефалограмм (ЭЭГ), отражающих в определённом смысле состояние нейронной сети головного мозга человека, является современным методом определения их информативно-значимых параметров и характеристик. Рассмотрены способы сравнительного анализа ЭЭГ для оценки влияния электросудорожной терапии на состояние нейронной сети головного мозга человека. Представлены результаты обработки экспериментальных данных.

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

Введение. Медицинская диагностика, как набор правил, методов и решений, которые позволяют оценить состояние человека, выявить на ранней стадии наличие определённого заболевания, имеет много общего с технической диагностикой [1]. Разработка новых и совершенствование уже существующих методов оценки состояния, эффективности применяемых методик лечения человека является важным направлением медицинских и междисциплинарных исследований. Вычислительная и информационная мощность современных технических средств, в том числе и мобильных, позволяет создавать новые методологии обработки больших массивов данных и длинных реализаций разнообразных сигналов.

Работа головного мозга сопровождается изменением электромагнитного поля на поверхности головы, которое можно зафиксировать специальными первичными

преобразователями и представить в виде изменяющихся параметров тока или напряжения, что и происходит, когда снимают электроэнцефалограмму (ЭЭГ) [2–4]. ЭЭГ – это результат процедуры, которая проводится для определения электрической активности головного мозга. ЭЭГ можно использовать для выявления симптомов нарушения работы головного мозга, оценки характера отклонений и степень их распространённости [4–6].

Цифровая обработка сигналов электроэнцефалограмм. 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, полученным с нескольких электродов на поверхности головы или скальпа. Стандартной системой размещения электродов на поверхности головы, рекомендованной Международной федерацией электроэнцефалографии и клинической нейрофизиологии является система «10–20%» [7].

Одним из способов представления ЭЭГ являются цифровые сигналы, которые можно исследовать с помощью методов цифровой обработки сигналов (ЦОС) [8–12]. Актуальной задачей исследования ЭЭГ является определение информативно значимых признаков, по изменению которых можно делать выводы о нарушении работы нейронной сети головного мозга человека, либо об эффективности применяемых методик лечения.

Одним из применяемых методов лечения тяжелых депрессий и эпилепсий является электросудорожная терапия (ЭСТ), при которой осуществляется пропускание электрического тока через головной мозг пациента с целью достижения лечебного эффекта [13].

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.

Рассмотрим некоторые особенности сигналов ЭЭГ, проявляющиеся при их цифровой обработке. В качестве примера на рисунках 1–4 показаны временные реализации и амплитудные спектры сигналов ЭЭГ (отведение О1-АА).

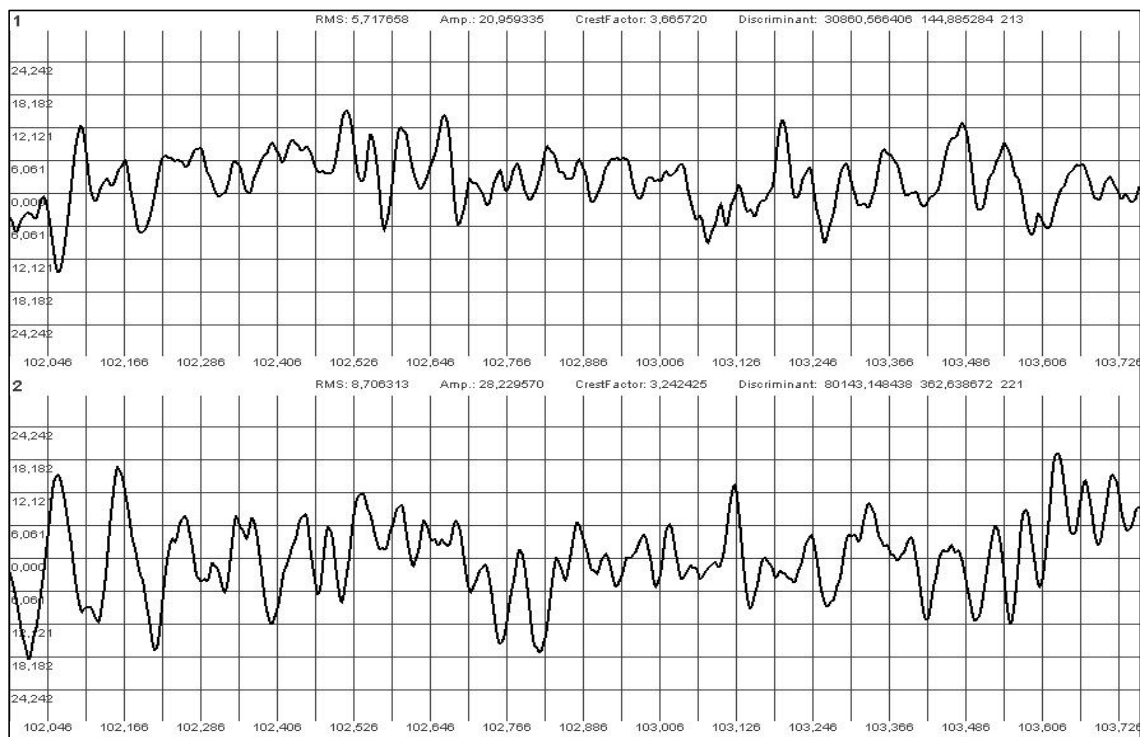


Рисунок 1. Сигналы ЭЭГ, полученные при частоте дискретизации 500 Гц до и после процедур ЭСТ

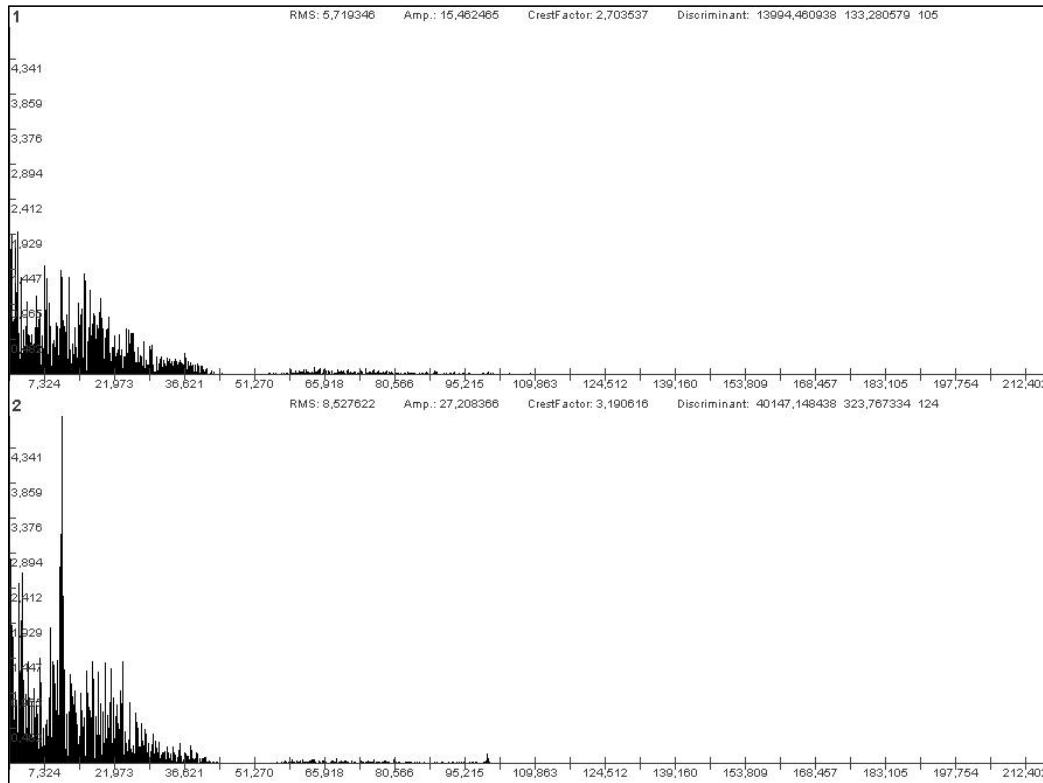


Рисунок 2. Амплитудные спектры сигналов ЭЭГ, полученных до и после процедур ЭСТ. Интервал анализа 4.096 с, частотное разрешение 0.244 Гц

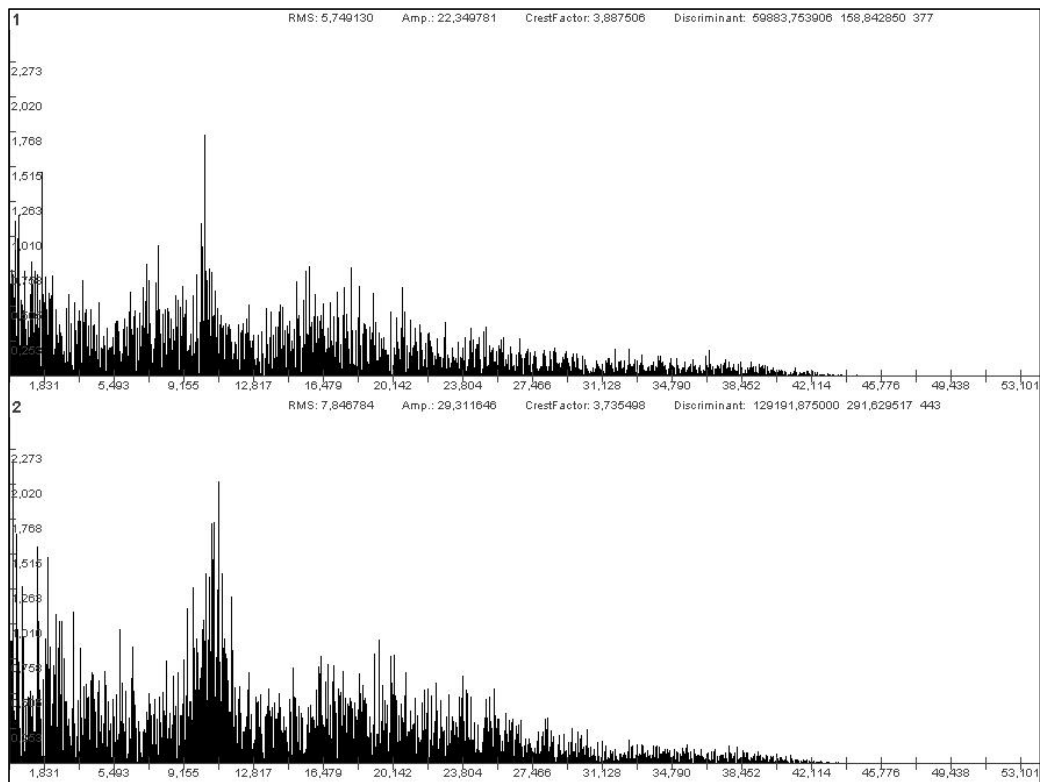


Рисунок 3. Амплитудные спектры сигналов ЭЭГ, полученных до и после процедур ЭСТ. Интервал анализа 16.384 с, частотное разрешение 0.061 Гц

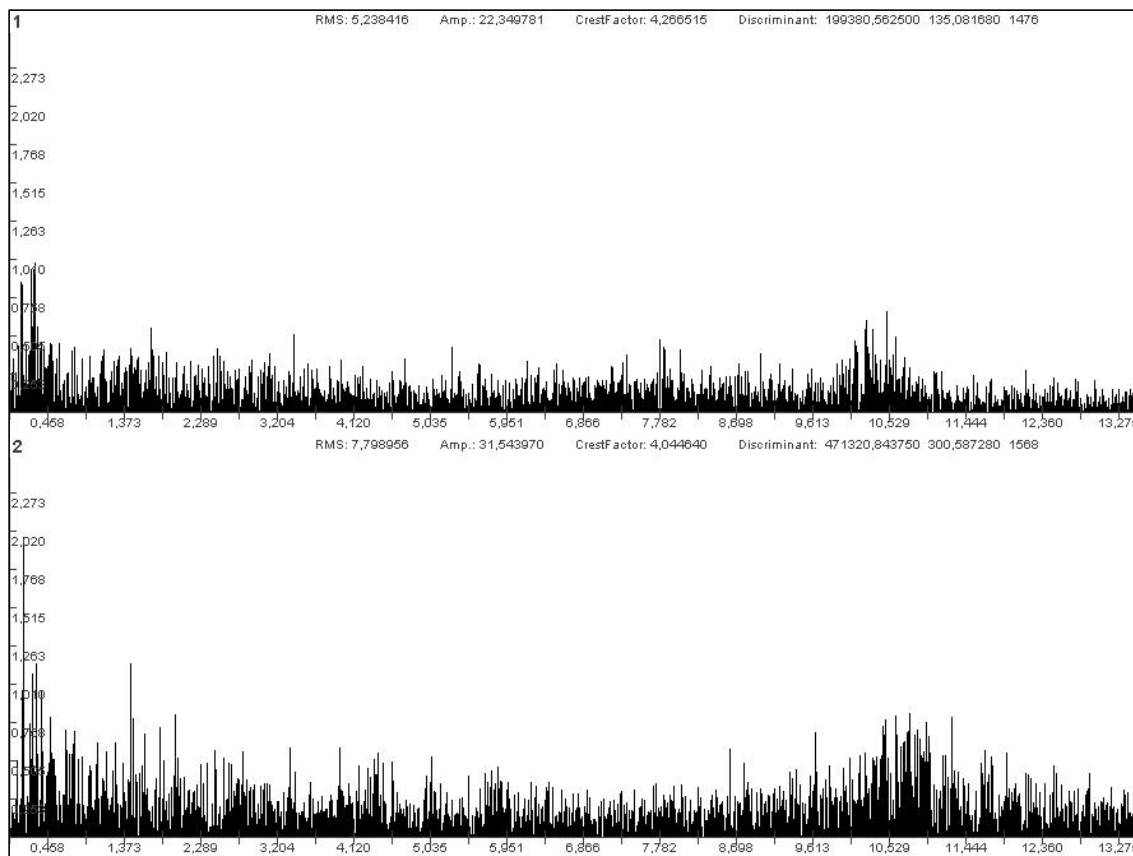


Рисунок 4. Амплитудные спектры сигналов ЭЭГ, полученных до и после процедур ЭСТ. Интервал анализа 65.536 с Частотное разрешение 0.015 Гц

Спектральный анализ показывает, что при изменении частотного разрешения изменяются параметры гармонических составляющих, представляющих сигнал ЭЭГ на разных временных интервалах, при этом заметно сохранение интенсивности сигнала в определённых частотных полосах.

В настоящее время для оценки сигналов ЭЭГ 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) [10–11].

На рисунках 5-7 представлены полосовые спектры сигналов ЭЭГ, полученные до и после процедур ЭСТ на временном интервале 8,192 с. Границы частотных полос 0.3, 4, 8, 13, 35, 70, 125 Гц.

В большинстве случаев наблюдается существенное изменение полосовых спектров, после проведения процедуры ЭСТ, однако имеют место и случаи, когда полосовые спектры сохраняют близкие к исходному соотношения интенсивностей колебаний в частотных полосах.

Больше информации можно получить, анализируя временные тренды параметров ЭЭГ, варьируя шаг по времени и протяжённость интервала наблюдения. На рисунках 9-12 показаны временные тренды параметров для сигнала ЭЭГ. Можно заметить колебательный во времени характер изменения среднего квадратического значения (СКЗ) сигнала ЭЭГ и СКЗ в отдельных частотных полосах. При интервале анализа в 65 секунд амплитуда колебаний СКЗ уменьшается, а изменение тренда приобретает плавный характер. Такие данные уже можно использовать для визуального сравнительного анализа.



Рисунок 5. Полосовые спектры сигналов ЭЭГ, полученные до и после процедур ЭСТ на временном интервале 8,192 с. Эксперимент 1.



Рисунок 6. Полосовые спектры сигналов ЭЭГ, полученные до и после процедур ЭСТ на временном интервале 8,192 с. Эксперимент 2.



Рисунок 7. Полосовые спектры сигналов ЭЭГ, полученные до и после процедур ЭСТ на временном интервале 8,192 с. Эксперимент 3.

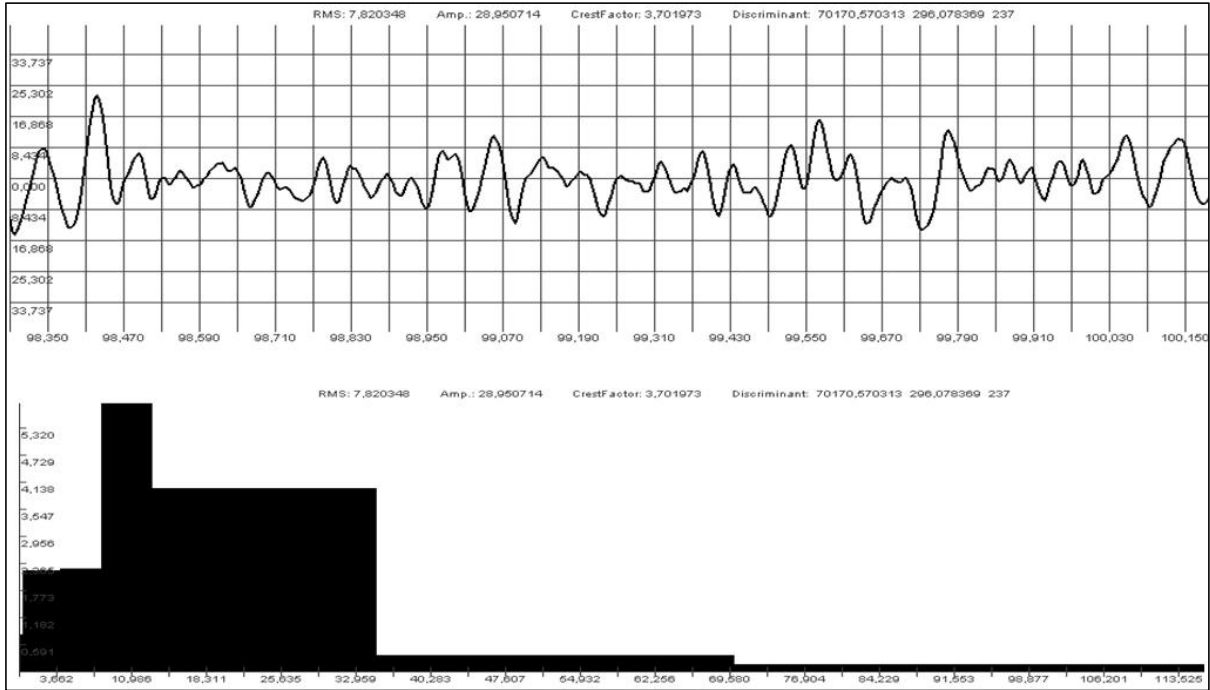


Рисунок 8. Исследуемая временная реализация сигнала ЭЭГ и её полосовой спектр

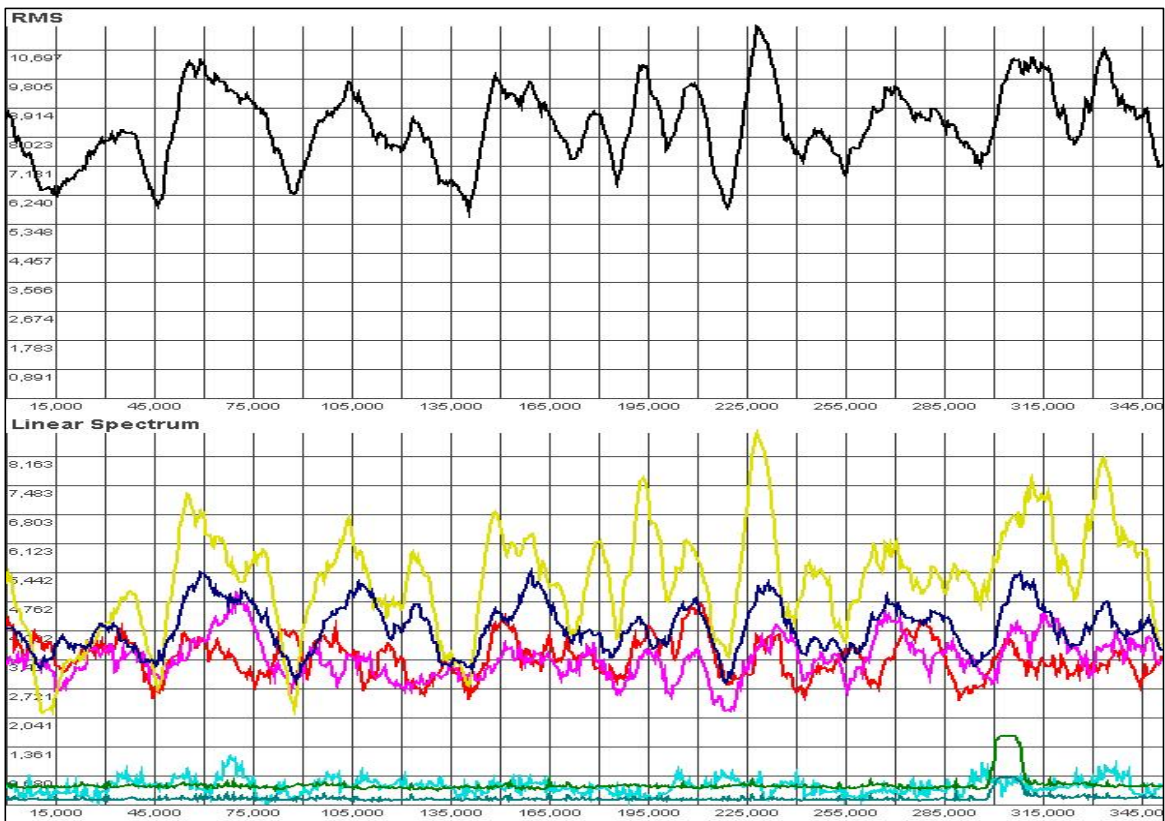


Рисунок 9. Временные тренды СКЗ сигнала ЭЭГ и СКЗ в частотных полосах шаг по времени 0.5 с, интервал анализа 8.192 с

Frequencies zone 0.0 - 0.3 Hz
 Frequencies zone 0.3 - 4.0 Hz
 Frequencies zone 4.0 - 8.0 Hz
Frequencies zone 8.0 - 13.0 Hz
 Frequencies zone 13.0 - 35.0 Hz
 Frequencies zone 35.0 - 70.0 Hz
Frequencies zone 70.0 - 125.0 Hz

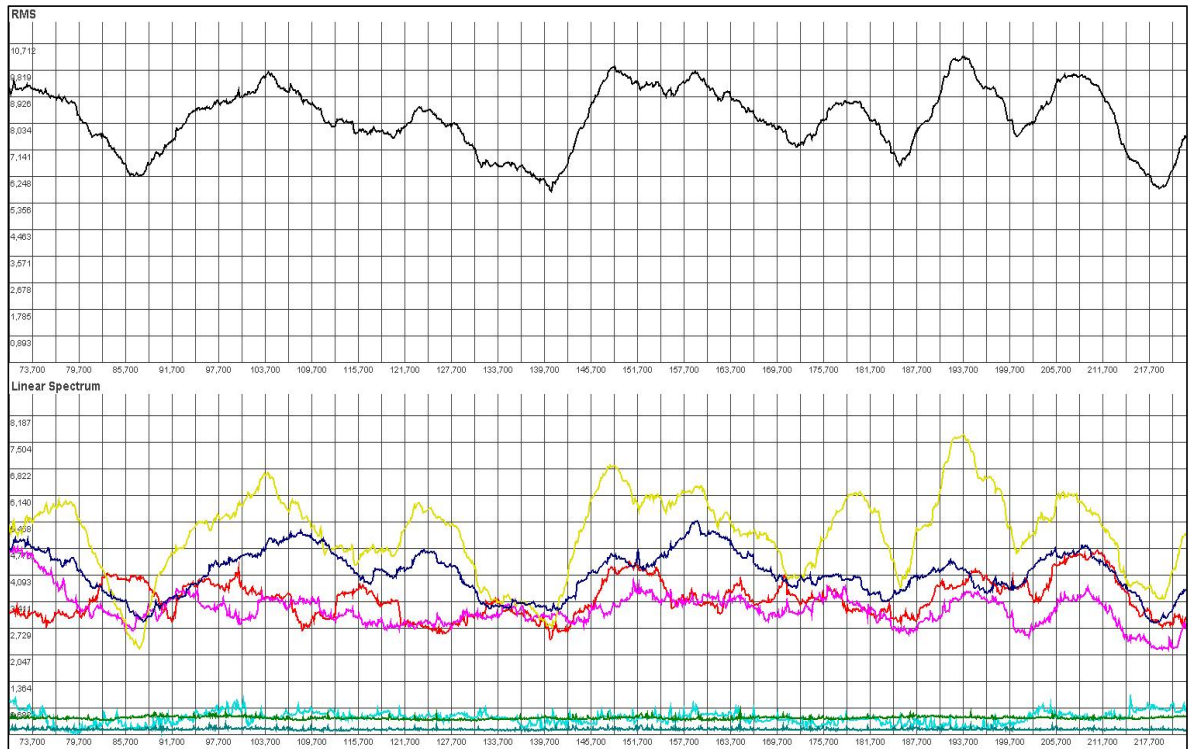


Рисунок 10. Временные тренды СКЗ сигнала ЭЭГ и СКЗ в частотных полосах шаг по времени 0.1 с, интервал анализа 8.192 с

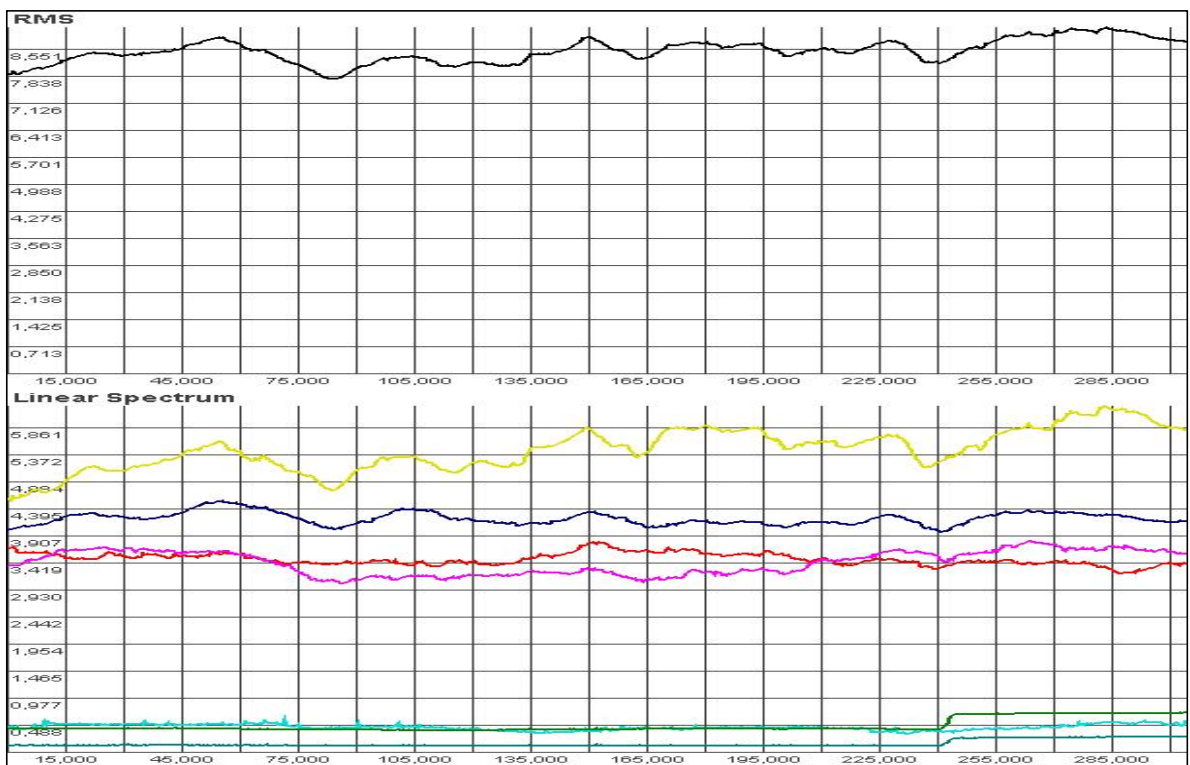


Рисунок 11. Временные тренды СКЗ сигнала ЭЭГ и СКЗ в частотных полосах шаг по времени 0.5 с, интервал анализа 65.536 с

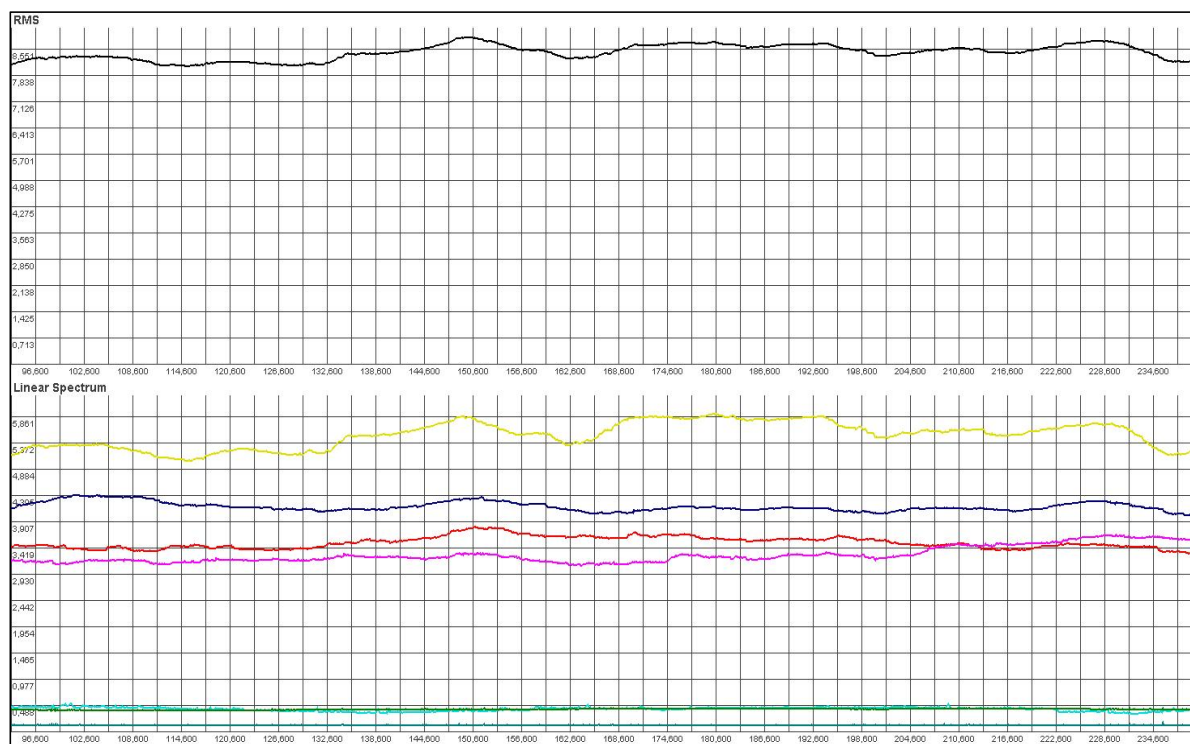


Рисунок 12. Временные тренды СКЗ сигнала ЭЭГ и СКЗ в частотных полосах шаг по времени 0.1 с, интервал анализа 65.536 с

Применение огибающих при сравнительном анализе ЭЭГ. В качестве параметров для сравнительного анализа электроэнцефалограмм предлагается использовать параметры составляющих сигналов, выделенных из ЭЭГ, и их огибающих.

Выделение сигнала в частотной полосе производится путем фильтрации с использованием алгоритма быстрого преобразования Фурье. Для вычисления огибающей сигнала применяется преобразование Гильберта [12]. На рисунках 13–16 показана последовательность преобразований сигналов ЭЭГ.

На первом этапе выделяются составляющие сигнала ЭЭГ в частотной полосе 6-12 Гц (рисунки 13–14). Можно предположить, что эти составляющие представляют собой несущую с амплитудной или фазо-частотной модуляцией.

Затем для выделенных составляющих ЭЭГ вычисляется огибающая (рисунки 15, 17). А на следующем этапе определяются амплитудные спектры огибающих (рисунки 16, 18).

Полученные амплитудные спектры огибающих содержат отличающиеся информативно-значимые признаки. Так до проведения процедуры ЭСТ значимыми по амплитуде являются гармоники с частотами 0.61 Гц, 0.98 Гц, 1.59 Гц, 2.44 Гц, а после проведения процедуры ЭСТ гармоники с частотами 0.37 Гц, 1.1 Гц, 3.05 Гц. Изменение параметров наибольших гармоник амплитудного спектра огибающей и может стать индикатором действенности процедуры ЭСТ.

Заключение. Электроэнцефалография является одним из способов исследования состояния нейронной сети головного мозга человека, а её результаты находят применение в медицинской практике. Вычислительные мощности современных малогабаритных компьютеров, смартфонов, встроенных систем позволяют реализовать различные трудоёмкие алгоритмы цифровой обработки ЭЭГ для определения их информативно значимых параметров и характеристик. В данной работе представлены результаты исследований, целью

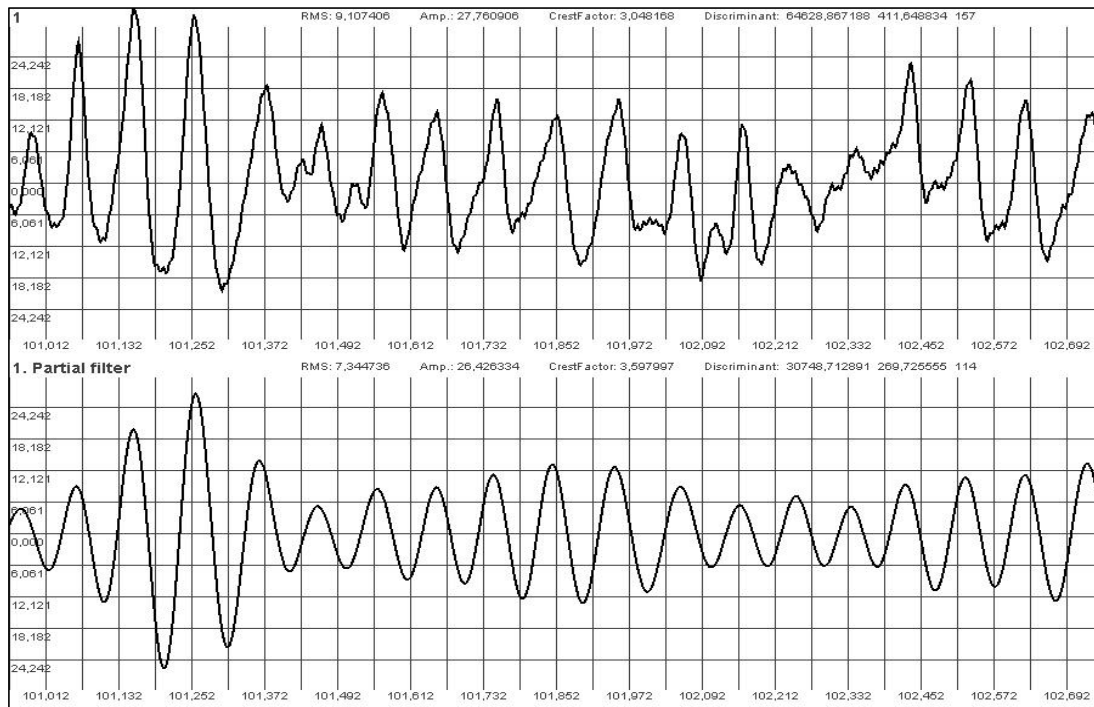


Рисунок 13. Исследуемый сигнала ЭЭГ и его составляющая в частотной полосе 6–12 Гц до проведения процедуры ЭСТ, интервал анализа 8.192 с

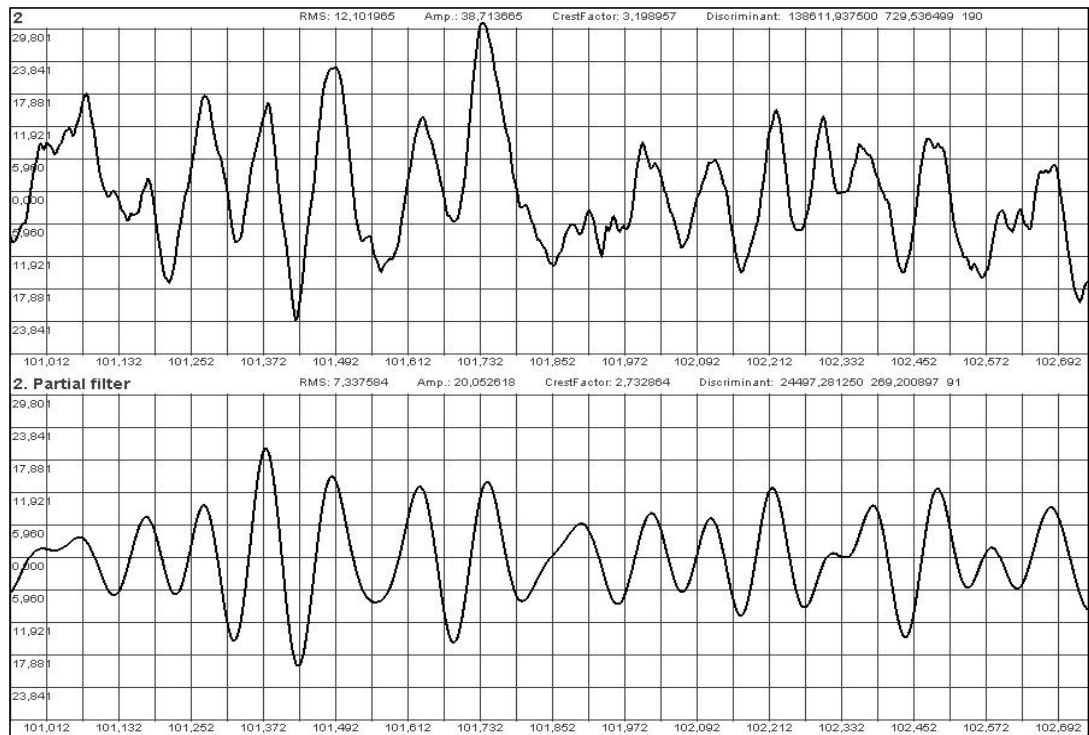


Рисунок 14. Исследуемый сигнала ЭЭГ и его составляющая в частотной полосе 6–12 Гц после проведения процедуры ЭСТ, интервал анализа 8.192 с

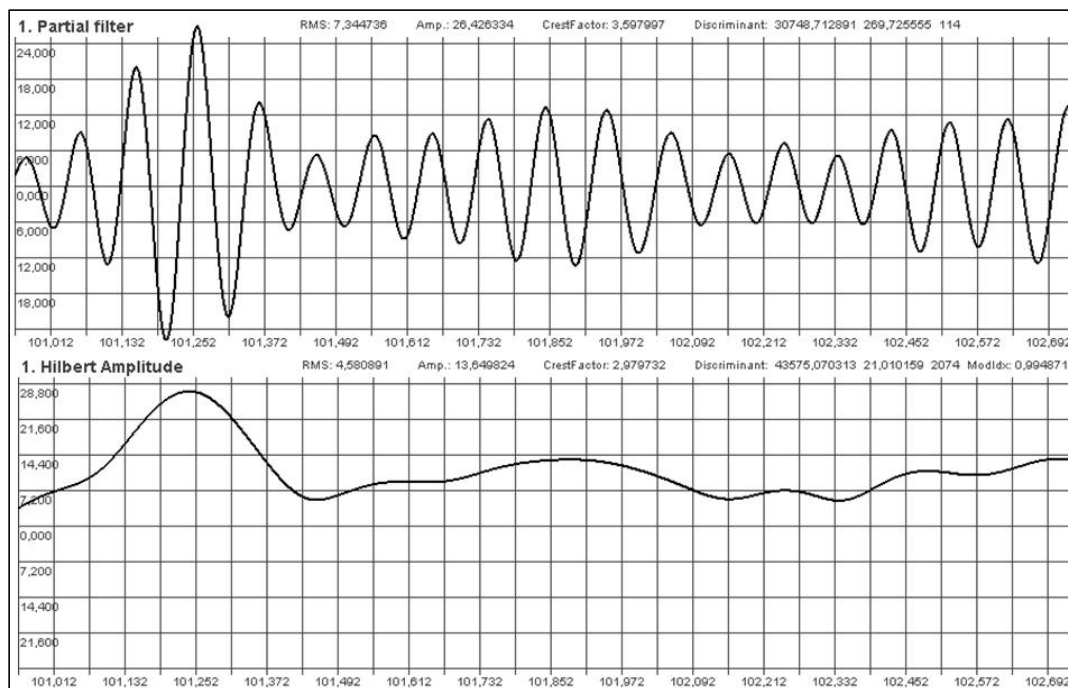


Рисунок 15. Составляющая ЭЭГ в частотной полосе 6–12 Гц и её огибающая до проведения процедуры ЭСТ

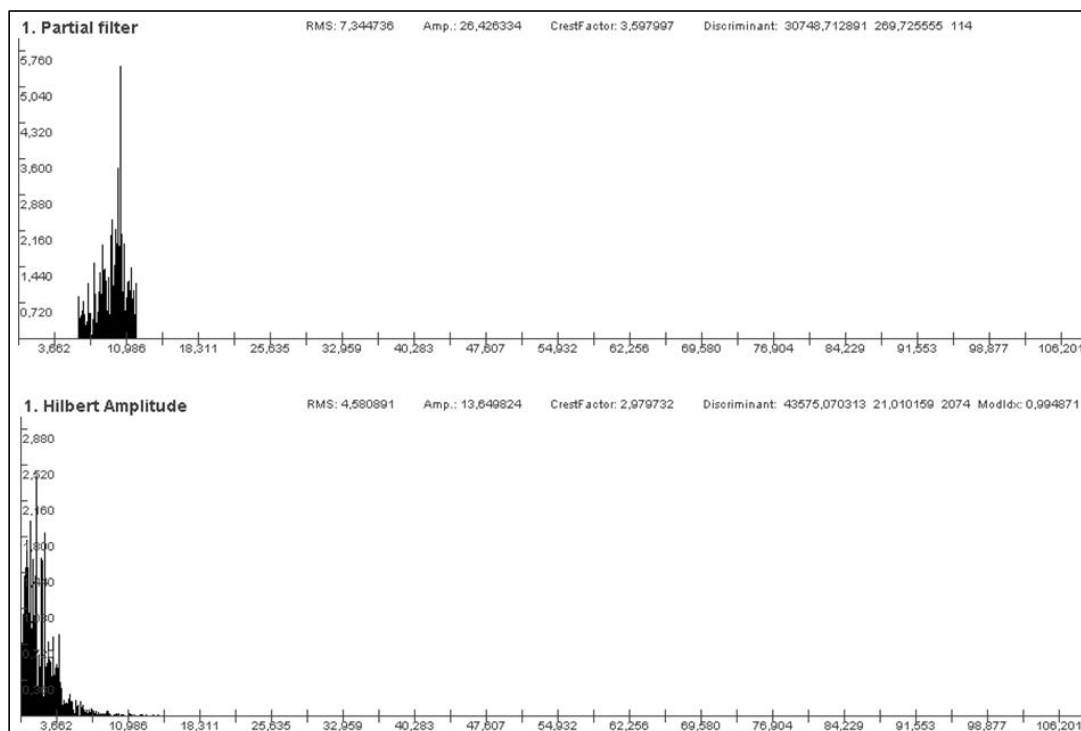


Рисунок 16. Амплитудные спектры составляющей сигнала ЭЭГ и его огибающей до проведения процедуры ЭСТ

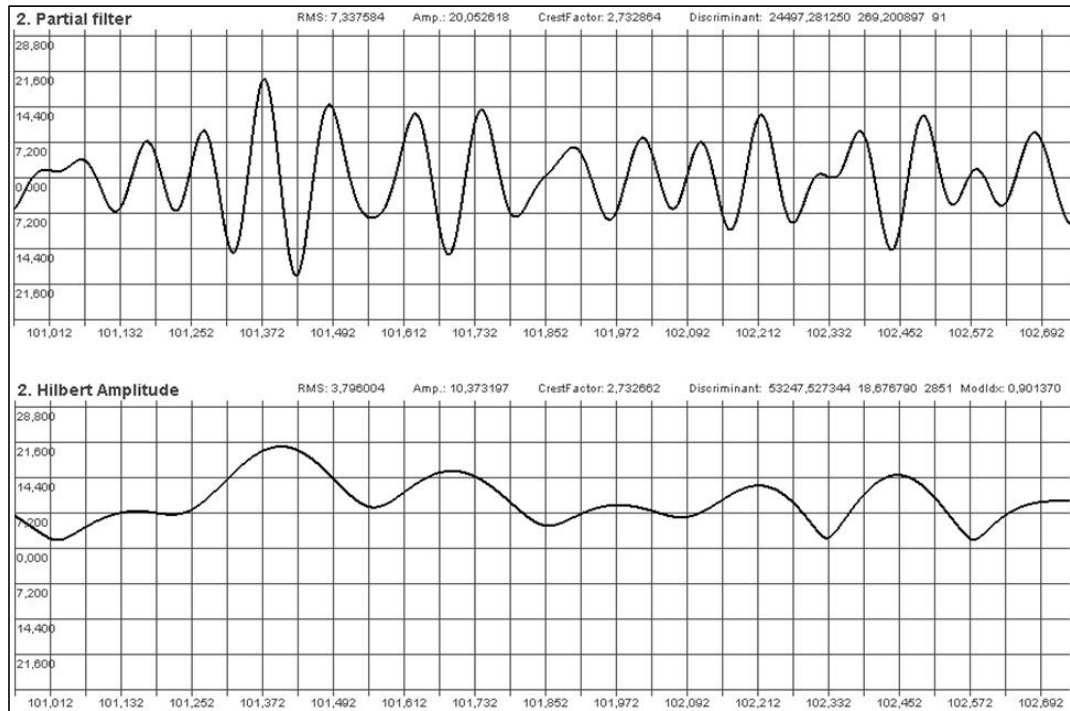


Рисунок 17. Составляющая ЭЭГ в частотной полосе 6–12 Гц и её огибающая после проведения процедуры ЭСТ

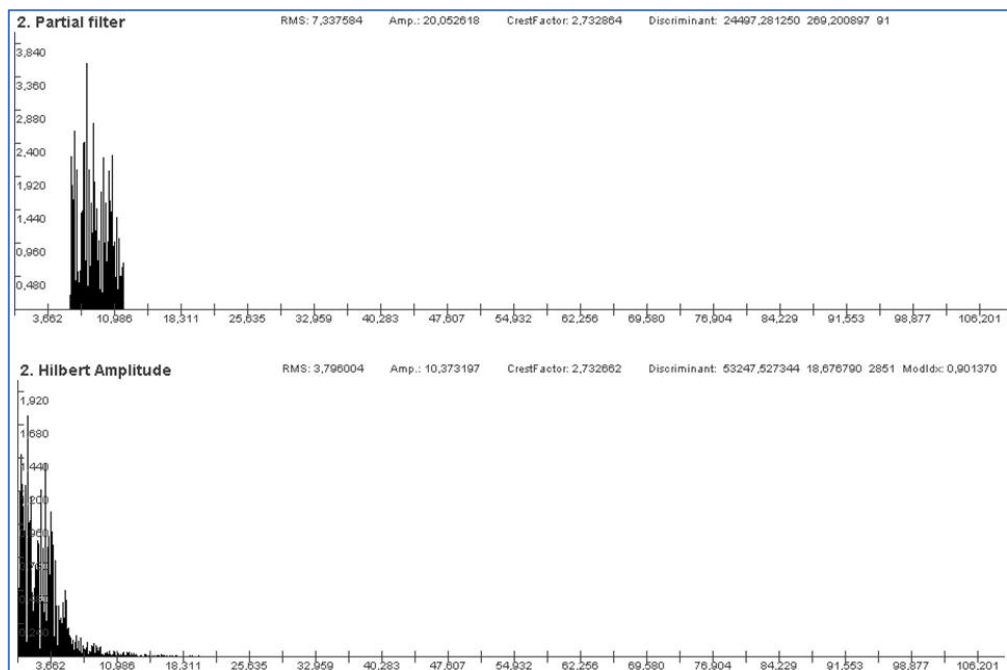


Рисунок 18. Амплитудные спектры составляющей сигнала ЭЭГ и его огибающей после проведения процедуры ЭСТ

Которых являлось определение стационарности параметров ЭЭГ, а также возможностей цифровой фильтрации и параметров огибающих сигналов для сравнительного анализа ЭЭГ. Однако полученные результаты требует подтверждения на большом объеме реальных данных. Также следует учитывать, что рассмотрен только один из вариантов обработки сигналов ЭЭГ. Для детального исследования составляющих

сигналов ЭЭГ в частотно-временной области могут быть использованы вейвлетов или преобразование Гильберта-Хуанга [12].

Список литературы

- [1] Барков А.В., Баркова Н.А., Азовцев А.Ю. Мониторинг и диагностика роторных машин по вибрации. СПб.: Изд. центр СПбГМТУ; 2000.
- [2] Бранцевич П.Ю. Сравнительный анализ электроэнцефалограмм. BIG DATA и анализ высокого уровня = BIG DATA and Advanced Analytics: сб. науч. ст. IX Междунар. науч.-практ. конф. В 2 ч. Ч. 1 (Республика Беларусь, Минск, 17–18 мая 2023 года). Редкол.: В. А. Богуш [и др.]. – Минск: БГУИР, 2023. – с. 132–144.
- [3] Бранцевич П.Ю. Информативные параметры электроэнцефалограмм. Прикладные проблемы оптики, информатики, радиофизики и физики конденсированного состояния: материалы седьмой Междунар. науч.-практ. конф. 18-19 мая 2021 г., Минск, М-во образования Респ. Беларусь, НИУ «Ин-т приклад. физ. проблем им. А. Н. Севченко» Беларус. Гос. ун-та; редкол.: Ю.И. Дудчик (гл. ред.), И.М. Цикман, И.Н. Кольчевская. – Минск: ОДО «Рейплац», 2023. – с. 137–139.
- [4] Павлова Л. П. Доминанты деятельного мозга человека. Системный психофизиологический подход к анализу ЭЭГ. СПб.: Информ-навигатор; 2017. 430 с.
- [5] Зенков, Леонид Ростиславович. Клиническая электроэнцефалография (с элементами эпилептологии) [Текст] / Л. Р. Зенков. - 2-е изд., испр. и доп. - М.: МЕДпресс-информ, 2002. - 368 с.
- [6] Визуальная и компьютерная ЭЭГ в клинической практике [Текст] / Т. В. Докукина, Н. Н. Мисюк. - Минск: Книгазбор, 2011. - 187 с.
- [7] Татум У.О., Хусейн А.М., Бенбадис С.Р., Каплан П.В. Клиническая интерпретация электроэнцефалографии. Пер. с англ. - М.: Издательский дом БИНОМ. 2020. - 264 с
- [8] Лайонс Р. Цифровая обработка сигналов. – М.: ООО «Бином-Пресс», 2006. – 656 с.
- [9] Айфичер Э.С., Джервис Б.У. Цифровая обработка сигналов: практический подход. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2008. – 992 с.
- [10] Кулаичев А.П. Компьютерная электрофизиология и функциональная диагностика. Москва: ИНФРА-М; 2018. – 469 с.
- [11] Электроэнцефалография: руководство / М.В. Александров, Л.Б. Иванов, С.А. Лыгаев [и др.]. Под ред. М.В. Александрова. 3-е изд., перераб. и доп. – Санкт-Петербург: СпецЛит, 2020. — 224 с.
- [12] Бранцевич П.Ю. Цифровая обработка вибрационных сигналов. – Минск: Бестпринт, 2022. – 297 с.
- [13] Метод лечения резистентных форм психических и поведенческих расстройств с использованием электросудорожной терапии. Инструкция по применению / Докукина Т.В. [и др.]. Утв. М-вом здравоохранения Респ. Беларусь 20.01.2015. – Минск: Министерство здравоохранения РБ, 2015. – 11 с.

Авторский вклад

Бранцевич Петр Юльевич – цифровая обработка сигналов и сравнительный анализ электроэнцефалограмм, формирование статьи.

DIGITAL PROCESSING AND COMPARATIVE ANALYSIS OF ELECTROENCEPHALOGRAMS

P.J. Brancevich

*Grand PhD courses of BSUIR,
PhD of Technical Sciences,
Associate Professor*

Abstract. Medical and technical diagnostics have much in common when assessing the condition of an observed object and making decisions about the nature of the reaction or impact on the object. The creation of new and improvement of existing methods for assessing the human condition is an important area of medical and interdisciplinary research. Digital processing of electroencephalograms (EEG), which in a certain sense reflect the state of the neural network of the human brain, is a modern method for determining their informatively significant parameters and characteristics. Methods for comparative analysis of EEG are considered to assess the effect of electroconvulsive therapy on the state of the neural network of the human brain. The results of processing experimental data are presented.

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