

УДК 616.89-08:004.3:004.42:004.9

## ИНФОРМАТИВНЫЕ ПРИЗНАКИ И ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАММ

П.Ю. БРАНЦЕВИЧ<sup>1</sup>, Т.В. ДОКУКИНА<sup>2</sup>, Н.Н. МИСЮК<sup>2</sup>, П.П. КОРОЛЕВИЧ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
(г. Минск, Республика Беларусь)*

<sup>2</sup>*Республиканский научно-практический центр психического здоровья (г. Минск, Республика Беларусь)*

**Аннотация.** Создание новых и совершенствование уже существующих методов оценки состояния человека является важным направлением медицинских и междисциплинарных исследований. Цифровая обработка электроэнцефалограмм, отражающих в определённом смысле состояние нейронной сети головного мозга человека, является современным методом определения их информативно-значимых параметров и характеристик. Рассмотрены вопросы применения амплитудных спектров, полосовых спектров, временных трендов, цифровой фильтрации при сравнительном анализе электроэнцефалограмм для оценки влияния электросудорожной терапии на состояние нейронной сети головного мозга человека. Представлены результаты обработки экспериментальных данных.

**Ключевые слова:** электроэнцефалограмма, цифровая обработка сигналов, информативный признак, амплитудный спектр, фильтрация, временной тренд.

## INFORMATIVE SIGNS AND CHARACTERISTICS OF ELECTROENCEPHALOGRAMS

PETER. Y. BRANCEVICH<sup>1</sup>, TATIANA. V. DOKUKINA<sup>2</sup>, NIKOLAI. N. MISYUK<sup>2</sup>,  
PAVEL. P. KOROLEVICH<sup>2</sup>

*Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics (Minsk, Republic of Belarus)  
Republican Scientific and Practical Center for Mental Health (Minsk, Republic of Belarus)*

**Abstract.** The development 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, which in a certain sense reflect the state of the neural network of the human brain, is a modern method for determining their informative and significant parameters and characteristics. The issues of using amplitude spectra, band spectra, time trends, digital filtering in comparative analysis of electroencephalogram for assessing the effect of electroconvulsive therapy on the state of the neural network of the human brain are considered. The result of experimental data processing are presented.

**Keywords:** electroencephalogram, digital signal processing, informative feature, amplitude spectrum, filtering, time trend.

### Введение

Разработка новых и совершенствование уже существующих методов оценки состояния и лечения человека является важным направлением медицинских исследований. При этом многие исследования проводятся как междисциплинарные, отличающиеся разнообразием методов обработки исходных параметров и характеристик человеческого организма и формализацией систем принятия решений. Обоснованные выводы и решения о состоянии контролируемого объекта можно получить анализируя длительные временные тренды параметров или исходные информативные сигналы и данные. Вычислительная и информационная мощность современных технических средств, в том числе и мобильных, позволяет существенно расширить и разнообразить подходы к решению задач, связанных с обработкой длинных реализаций цифровых сигналов и автоматикой принятия решений [1-2].

Работа человеческого мозга, как взаимодействие нейронов посредством электрических токов и химических реакций, сопровождается изменением электромагнитного поля на

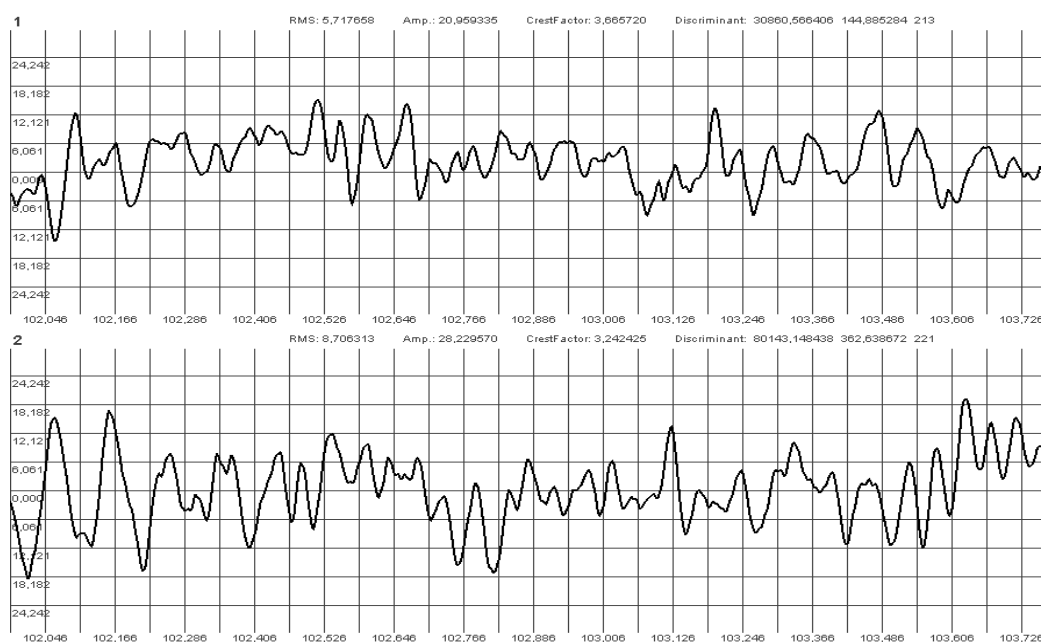
поверхности головы, которое можно зафиксировать специальными первичными преобразователям, отразить изменяющимися параметрами тока или напряжения, и представить в виде цифровых сигналов, что и происходит, когда снимают электроэнцефалограмму (ЭЭГ) [3]. ЭЭГ – процедура, которая проводится для определения электрической активности головного мозга и выявления очагов повышенной судорожной активности его коры, что характерно для: эпилепсии; опухолей; состояний после перенесенного инсульта; структурных и метаболических энцефалопатий; расстройств сна и других заболеваний. Электроэнцефалограмма выявляет симптоматику работы головного мозга, а ее анализ позволяет оценить характер зарегистрированных артефактов [4–6]. Стандартной системой размещения электродов на поверхности головы, рекомендованной Международной федерацией электроэнцефалографии и клинической нейрофизиологии, является система «10–20%» [6].

### Сравнительный анализ электроэнцефалограмм, как реализаций цифрового сигнала

Электросудорожная терапия (ЭСТ) – метод психиатрического и неврологического лечения, при котором эпилептиформный судорожный припадок вызывается пропусканием электрического тока через головной мозг пациента с целью достижения лечебного эффекта [7]. ЭСТ можно использовать, только если другие мероприятия, например, лекарства и психотерапия, не дали результата [8]. Нейронная сеть головного мозга человека подвергается сильному воздействию, однако пока не определены объективные информативно-значимые признаки на основе анализа ЭЭГ, которые показывали бы или подтверждали эффективность проведенных процедур ЭСТ.

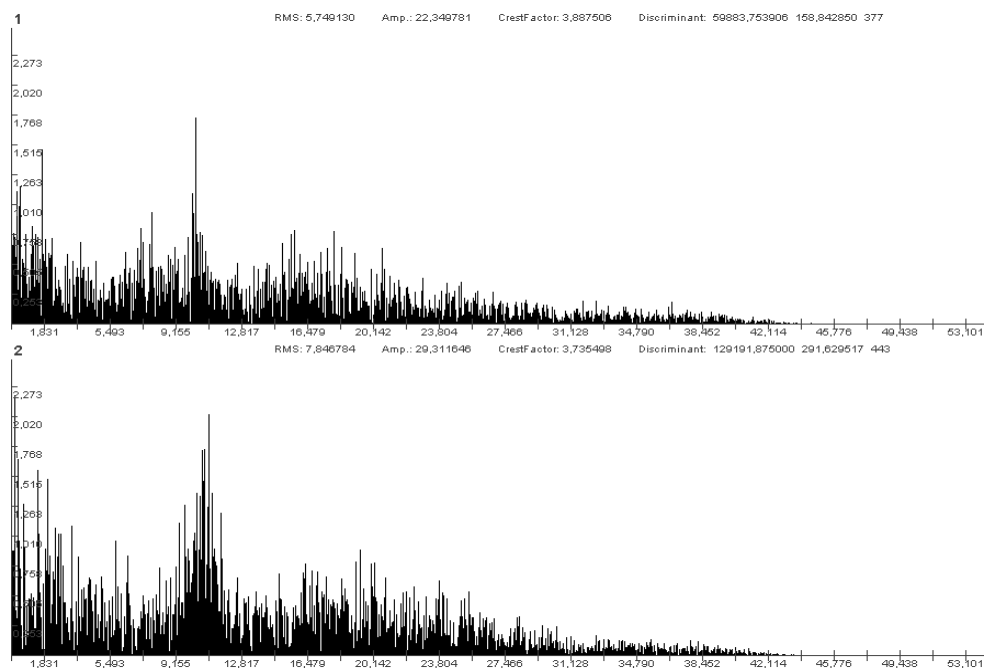
В данной работе рассмотрены способы сравнительного анализа ЭЭГ, полученных до и после проведения сеансов ЭСТ.

Рассмотрим сигналы ЭЭГ (отведение О1-АА), полученные при обследовании пациента до и после ЭСТ (рисунок 1) и результаты их преобразований (рисунок 2).



**Рис. 1.** Отрезки сигналов ЭЭГ, отведение О1-АА, до процедуры ЭСТ (верхний сигнал) и после (нижний сигнал). Ось абсцисс – время, с; Ось ординат – напряжение, мВ

**Fig. 1.** EEG signal segments, lead O1-AA, before the ECT procedure (upper signal) and after (lower signal). Abscissa axis – time, s; Ordinate axis – voltage, mV.



**Рис. 2.** Амплитудные спектры сигналов ЭЭГ, отведение О1-АА, до процедуры ЭСТ (верхний сигнал) и после (нижний сигнал), частотное разрешение 0.061035 Гц  
**Fig. 2.** Amplitude spectra of EEG signals, lead O1-AA, before the ECT procedure (upper signal) and after (lower signal), frequency resolution 0.061035 Hz

Ряд проведенных исследований амплитудных спектров ЭЭГ показал, что при изменении частотного разрешения спектрального анализа изменяется структура спектра ЭЭГ, а также можно выявить отличие амплитудных спектров до и после ЭСТ [9–12]. Это является свидетельством случайного характера изменения ЭЭГ во времени. После процедуры ЭСТ на ЭЭГ наблюдается новая выраженная гармоническая составляющая с частотой около 1 Гц.

Полосовой спектральный анализ [13] для частотных диапазонов альфа (8–13 Гц); бета (13–35 Гц); гамма (35–70 Гц); дельта (0,3–4 Гц); тэта (4–8 Гц) позволяет получить более усредненную картину. На рисунках 3–4 представлены полосовые спектры сигналов ЭЭГ, полученные до и после процедур ЭСТ на временном интервале 8,192 с.



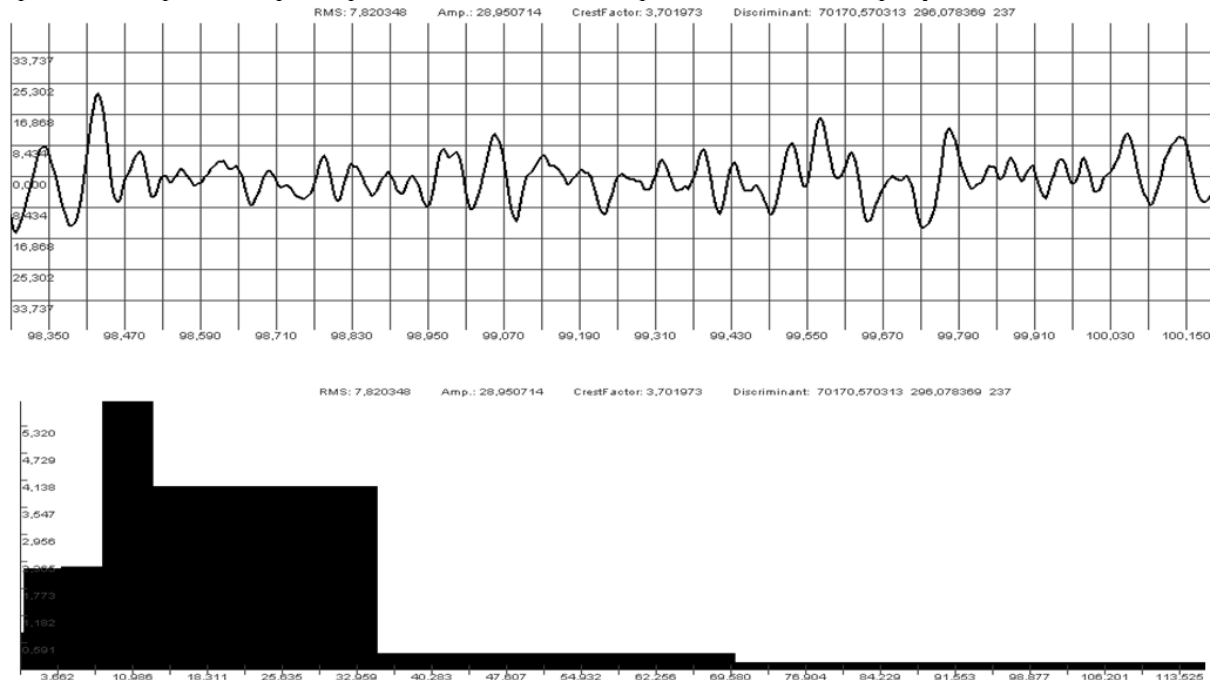
**Рис. 3.** Полосовые спектры сигналов ЭЭГ, полученные до и после процедур ЭСТ на временном интервале 8,192 с. Эксперимент 1  
**Fig. 3.** Band spectra of EEG signals obtained before and after ECT procedures over a time interval of 8,192 s. Experiment 1



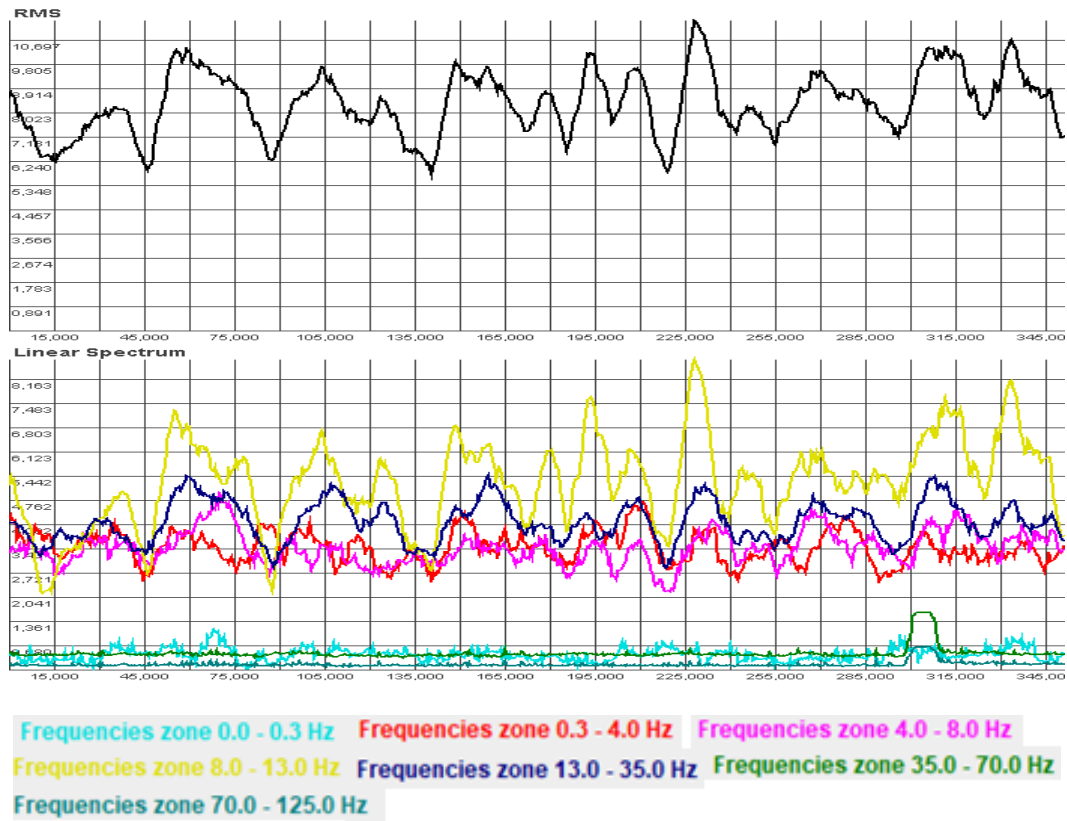
**Рис. 4.** Полосовые спектры сигналов ЭЭГ, полученные до и после процедур ЭСТ на временном интервале 8,192 с. Эксперимент 2  
**Fig. 4.** Band spectra of EEG signals obtained before and after ECT procedures over a time interval of 8,192 s. Experiment 2

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 [14].

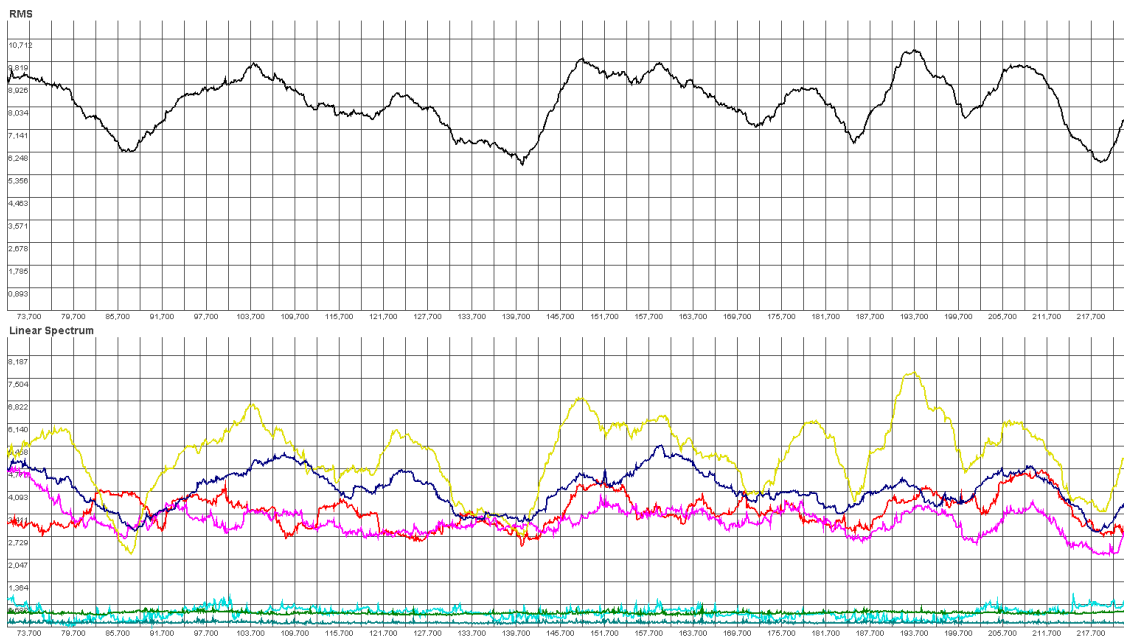
Важную информацию можно получить, анализируя временные тренды параметров ЭЭГ, варьируя шаг по времени и протяжённость интервала наблюдения. На рисунках 6–8 показаны временные тренды параметров для сигнала ЭЭГ, представленного на рисунке 5.



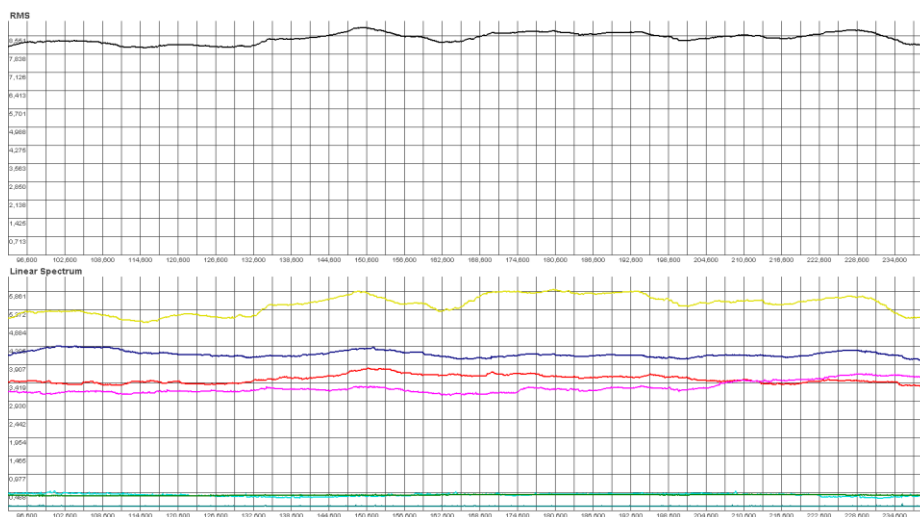
**Рис. 5.** Исследуемая временная реализация сигнала ЭЭГ и её полосовой спектр  
**Fig. 5.** The studied temporal realization of the EEG signal and its band spectrum



**Рис. 6.** Временные тренды СКЗ сигнала ЭЭГ и СКЗ в частотных полосах шаг по времени 0,5 с, интервал анализа 8,192 с  
**Fig. 6.** Time trends of EEG signal RMS and RMS in frequency bands time step 0,5 s, analysis interval 8,192 s



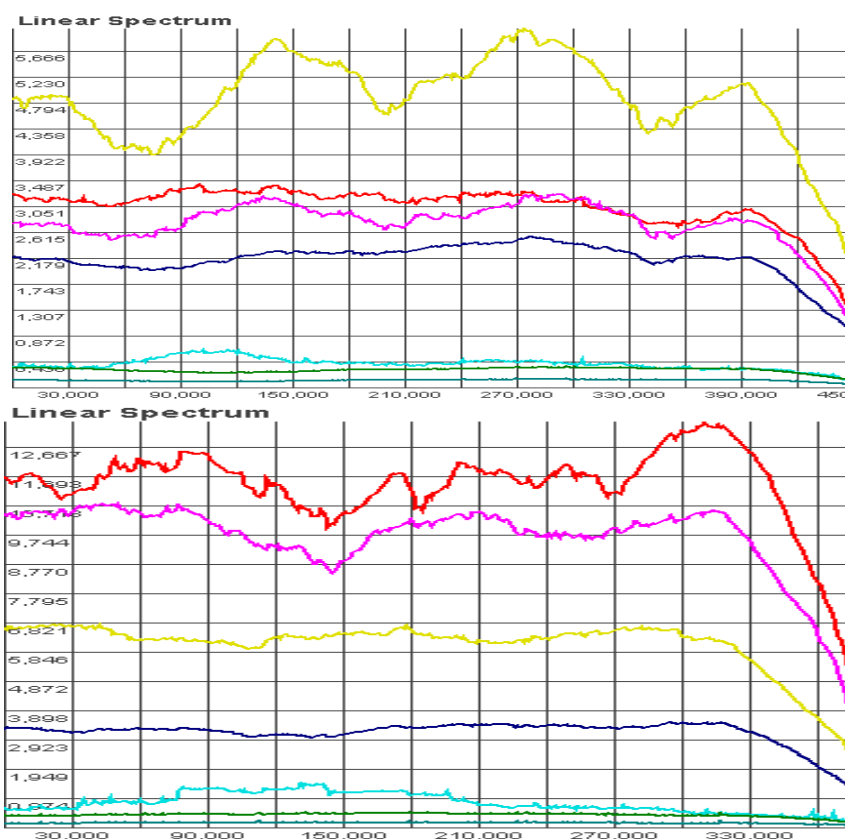
**Рис. 7.** Временные тренды СКЗ сигнала ЭЭГ и СКЗ в частотных полосах шаг по времени 0,1 с, интервал анализа 8,192 с  
**Fig. 7.** Time trends of EEG signal RMS and RMS in frequency bands time step 0,1 s, analysis interval 8,192 s



**Рис. 8.** Временные тренды СКЗ сигнала ЭЭГ и СКЗ в частотных полосах шаг по времени 0,1 с, интервал анализа 65,536 с

**Fig. 8.** Time trends of EEG signal RMS and RMS in frequency bands time step 0,1 s, analysis interval 65,536 s

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 9).



**Рис. 9.** Временные тренды СКЗ сигнала ЭЭГ и СКЗ в частотных полосах до и после процедуры ЭСТ шаг по времени 0,5 с, интервал анализа 65,536 с

**Fig. 9.** Time trends of EEG signal RMS and RMS in frequency bands before and after ECT procedure time step 0,5 s, analysis interval 65,536 s

## Заключение

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. Интересные результаты получены также при обработке ЭЭГ с использованием вейвлетов, преобразования Гильберта-Хуанга, огибающей сигнала в частотных полосах, гистограмм распределения сигнала по уровню [2, 12–14]. Однако для формулирования обоснованных и практически значимых выводов требуется проведение исследований на большом объеме реальных данных.

## Список литературы

1. Айфичер, Э. С. Цифровая обработка сигналов: практический подход / Э. С. Айфичер, Б. У. Джервис. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2008. – 992 с.
2. Бранцевич, П. Ю. Цифровая обработка вибрационных сигналов / П. Ю. Бранцевич. – Минск: Бестпринт, 2022. – 297 с.
3. Зенков, Л. Р. Клиническая электроэнцефалография (с элементами эпилептологии) / Л. Р. Зенков. 2-е изд., испр. и доп. – М.: МЕДпресс-информ, 2002. – 368 с.
4. Павлова, Л. П. Доминанты деятельного мозга человека. Системный психофизиологический подход к анализу ЭЭГ / Л. П. Павлова. – СПб.: Информ-навигатор, 2017. – 430 с.
5. Докукина, Т. В. Визуальная и компьютерная ЭЭГ в клинической практике / Т. В. Докукина, Н. Н. Мисюк. – Минск: Книгасбор, 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. 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: М-во здравоохранения РБ, 2015. – 11 с.
8. 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 / М. Бауэр, А. Пфенниг, Э. Северус, П. С. Вайбрау, Ж. Ангст, Х. Ю. Мюллер от имени и по поручению Рабочей группы по униполярным депрессивным расстройствам // Современная терапия психических расстройств, 2016. – № 2. – С. 27-40.
9. Лайонс, Р. Цифровая обработка сигналов / Р. Лайонс. – М.: ООО «Бином-Пресс», 2006. – 656 с.
10. Кулаичев, А. П. Компьютерная электрофизиология и функциональная диагностика / А. П. Кулаичев. – Москва: ИНФРА-М, 2018. – 469 с.
11. Бранцевич, П. Ю. Цифровая обработка электроэнцефалограмм / П. Ю. Бранцевич // Science and innovation. – Ташкент: LLC «Science and innovation», 2023. – Special Issue 3. – с. 930–934.
12. Бранцевич, П. Ю. Информативные параметры электроэнцефалограмм / П. Ю. Бранцевич // Прикладные проблемы оптики, информатики, радиофизики и физики конденсированного состояния: материалы седьмой Междунар. науч.-практ. конф. 18-19 мая 2023 г., Минск, М-во образования Респ. Беларусь, НИУ «Ин-т приклад. физ. проблем им. А. Н. Севченко» Беларус. Гос. ун-та. – Минск: ОДО «Рейплац», 2023. – С. 137–139.
13. Бранцевич, П. Ю. Цифровая обработка сигналов и сравнительный анализ электроэнцефалограмм / П. Ю. Бранцевич // BIG DATA и анализ высокого уровня = BIG DATA and Advanced Analytics : сб. науч. ст. X Междунар. науч.-практ. конф. (Республика Беларусь, Минск, 13 марта 2024 года). В 2 ч. Ч. 1. – Минск: БГУИР, 2024. – С. 101–112.
14. Бранцевич, П. Ю. Сравнительный анализ электроэнцефалограмм / П. Ю. Бранцевич // 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). – Минск: БГУИР, 2023. – С. 132–144.