

УДК 616.89-08:004.3:004.42:004.9

ДЕКОМПОЗИЦИЯ ЦИФРОВЫХ СИГНАЛОВ ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАММ ПРИ ИХ СРАВНИТЕЛЬНОМ АНАЛИЗЕ



П.Ю. Бранцевич
Доцент кафедры
программного
обеспечения
информационных
технологий БГУИР,
кандидат технических
наук, доцент
branc@bsuir.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. Цифровая обработка электроэнцефалограмм (ЭЭГ), отражающих в определённом смысле состояние нейронной сети головного мозга человека, является современным методом определения их информативно-значимых параметров и характеристик. Рассмотрен способ представления ЭЭГ в виде суммы составляющих, выделенных в узких частотных полосах, которые по сути являются фрагментами модулированных гармоник. Приведены примеры сравнительного анализа ЭЭГ для оценки влияния электросудорожной терапии на состояние нейронной сети головного мозга человека.

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

Введение. Основным органом, управляющим поведением человека, является самообучающаяся нейронная сеть его головного мозга, в которой нейроны взаимодействуют посредством электрических токов и химических реакций. В таком аспекте человека можно представить, как органическую автоматическую систему принятия решений, в которую поступает информация о состоянии органов человека и об окружающей среде, а также имеются некоторые исполнительные органы, отражающие или исполняющие принимаемые решения.

Работа головного мозга вследствие протекающих в нем электрических токов идентифицируется 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) [1–2]. ЭЭГ – это результат процедуры по определению параметров электрической активности головного мозга. ЭЭГ можно использовать для выявления симптомов нарушения работы головного мозга, оценки характера отклонений и степень их распространённости [3–4].

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%» [5].

Электроэнцефалограмма представляется в виде цифровой сигналы, которые можно обрабатывать и исследовать с помощью методов цифровой обработки сигналов (ЦОС) [6–8]. Целью 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.

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) [7].

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 [9–11].

Также представляют интерес результаты, получаемые при определении огибающих сигнала ЭЭГ для частотных полос и их амплитудные спектры [12].

Еще более наглядную информацию можно получить анализируя временные тренды среднеквадратического значения (СКЗ) сигнала ЭЭГ и СКЗ в частотных полосах [13].

Для более детального исследования ЭЭГ, выделения их информативно-значимых признаков, предлагается представление ЭЭГ в виде декомпозиции частотных составляющих с узкими частотными полосами. На рисунках 1-13 в качестве примера показаны исходная ЭЭГ и ее частотные составляющие для отведения О1-АА частота дискретизации 250 Гц

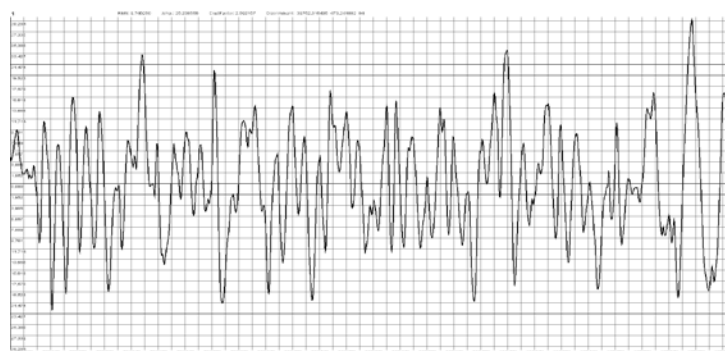


Рисунок 1. Сигнал ЭЭГ отведения О1-АА



Рисунок 2. Амплитудный спектр сигнал ЭЭГ отведения О1-АА, частотное разрешение 0,12207 Гц



Рисунок 3. Амплитудный спектр сигнал ЭЭГ отведения О1-АА, частотное разрешение 0,061035 Гц

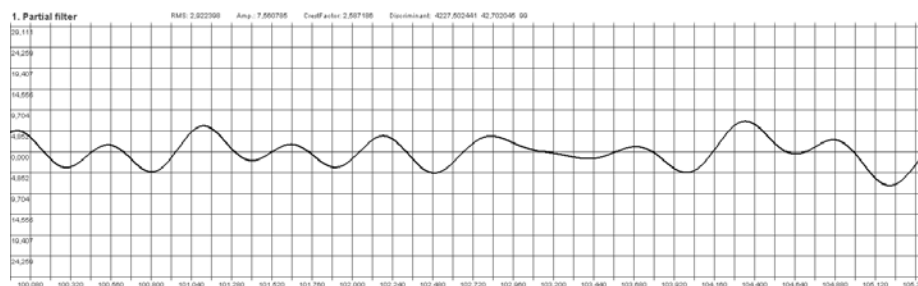


Рисунок 4. Составляющая сигнала ЭЭГ в частотной полосе 0,1-2 Гц

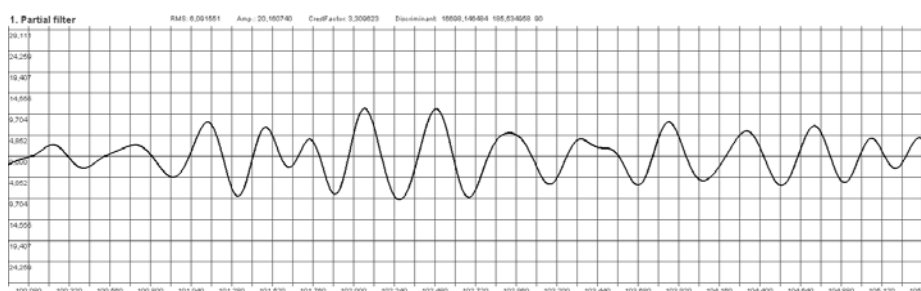


Рисунок 5. Составляющая сигнала ЭЭГ в частотной полосе 2-4 Гц

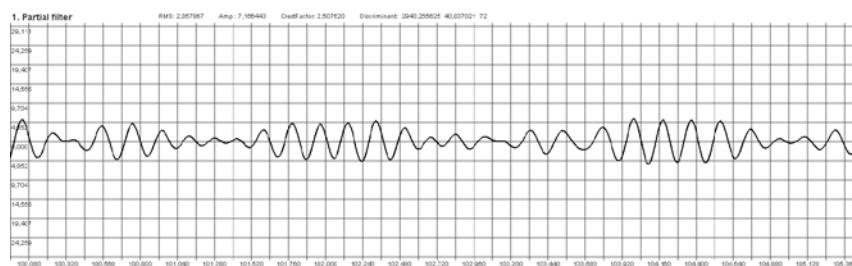


Рисунок 6. Составляющая сигнала ЭЭГ в частотной полосе 4-6 Гц

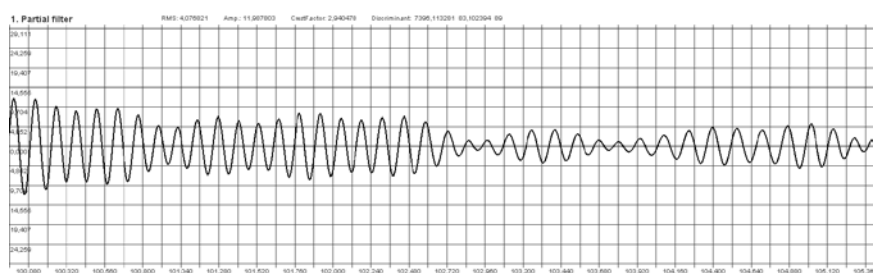


Рисунок 7. Составляющая сигнала ЭЭГ в частотной полосе 6-8 Гц

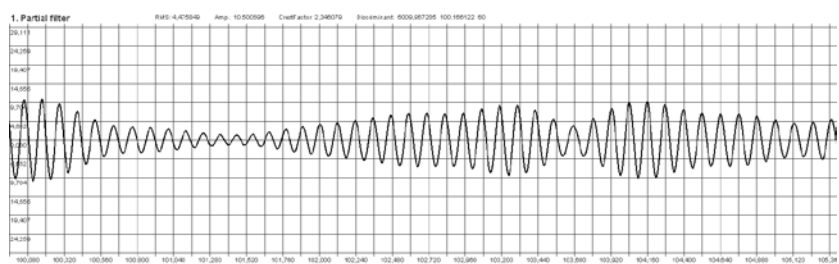


Рисунок 8. Составляющая сигнала ЭЭГ в частотной полосе 8-10 Гц

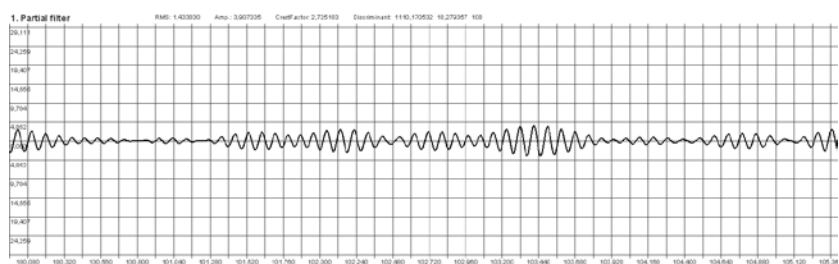


Рисунок 9. Составляющая сигнала ЭЭГ в частотной полосе 10-12 Гц

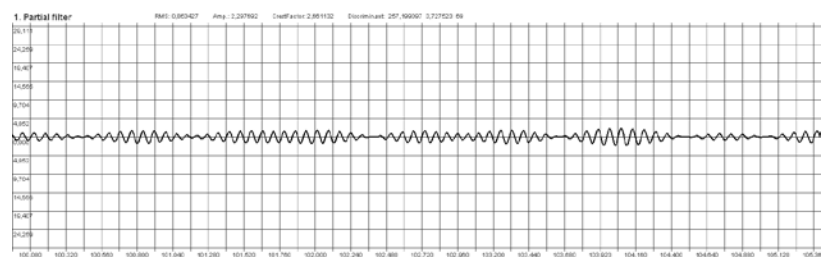


Рисунок 10. Составляющая сигнала ЭЭГ в частотной полосе 12-14 Гц

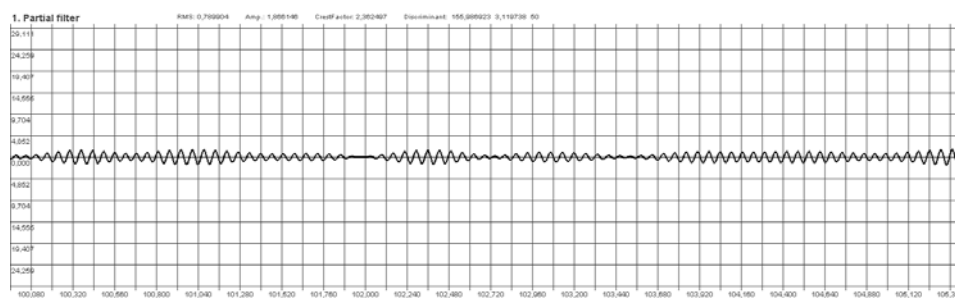


Рисунок 11. Составляющая сигнала ЭЭГ в частотной полосе 14-16 Гц

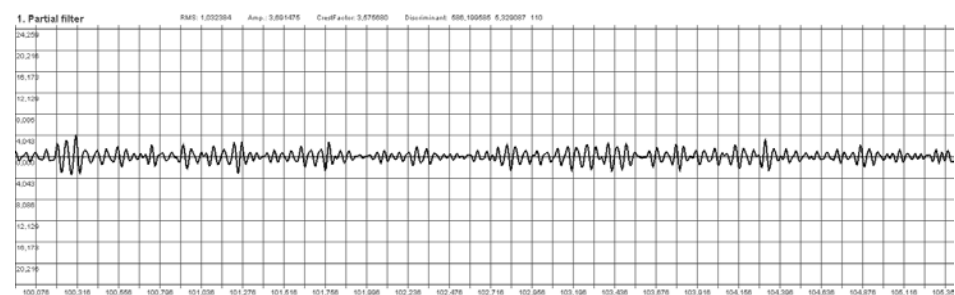


Рисунок 12. Составляющая сигнала ЭЭГ в частотной полосе 16-35 Гц

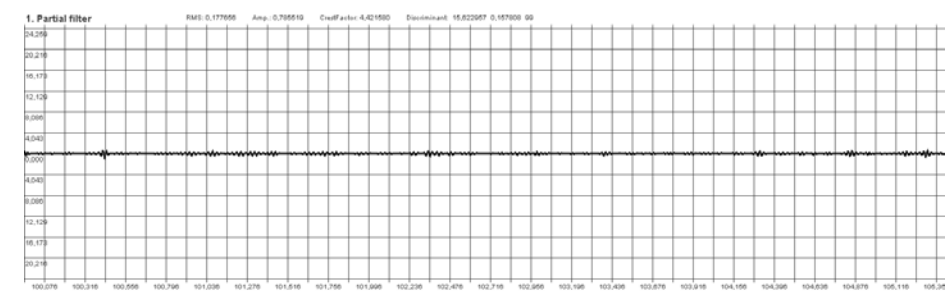


Рисунок 13. Составляющая сигнала ЭЭГ в частотной полосе 35-70 Гц

Можно заметить, что в узких частотных полосах составляющие ЭЭГ представляют собой фрагменты модулированных гармоник. Также можно предположить, что параметры этих составляющих ЭЭГ являются информативно-значимыми параметрами при сравнении ЭЭГ или оценке их изменений.

Сравнительный анализ ЭЭГ. 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 [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.

Предложенный подход разложения на компоненты сигнала ЭЭГ использован при сравнительном анализе ЭЭГ, полученных до и после процедуры ЭСТ. В таблицах 1-3 представлены вычисленные параметры исследованных ЭЭГ.

Таблица 1. Параметры составляющих ЭЭГ до и после процедуры ЭСТ. Эксперимент 1

Частотный диапазон, Гц	СКЗ, относительные единицы		Пик фактор	
	До процедуры	После	До процедуры	После
2-4	0,398	1,067	2,578	3,031
4-6	0,373	1,19	3,244	4,016

6–8	0,404	1,07	3,047	3,329
8–10	1	1	3,765	2,582
10–12	1,218	0,763	2,087	2,48
12–14	0,383	0,315	2,614	2,497
14–16	0,244	0,246	2,588	2,68

Таблица 2. Параметры составляющих ЭЭГ до и после процедуры ЭСТ. Эксперимент 2

Частотный диапазон, Гц	СКЗ, относительные единицы		Пик фактор	
	До процедуры	После	До процедуры	После
2–4	1,262	0,54	2,634	2,62
4–6	1,167	0,583	2,54	2,92
6–8	0,99	0,537	2,27	2,44
8–10	1	1	2,8	3,38
10–12	2,55	1,628	2,75	3,83
12–14	0,935	0,583	2,54	3,04
14–16	1,209	0,613	3,12	3,19

Таблица 3. Параметры составляющих ЭЭГ до и после процедуры ЭСТ. Эксперимент 3

Частотный диапазон, Гц	СКЗ, относительные единицы		Пик фактор	
	До процедуры	После	До процедуры	После
2–4	0,331	0,453	2,432	2,625
4–6	0,303	0,443	2,918	2,863
6–8	0,323	0,366	3,245	2,553
8–10	1	1	2,84	2,553
10–12	0,363	0,42	2,69	2,897
12–14	0,297	0,234	3,401	3,806
14–16	0,176	0,202	2,545	3,075

Данные, представленные в таблицах 1 и 2 получены для случаев, когда процедуры ЭСТ дали положительный результат, а в таблице 3, когда положительный лечебный эффект не был достигнут.

Можно заметить, что при положительном результате от процедуры ЭСТ наблюдаются существенные изменения относительных величин СКЗ частотных составляющих, а при отрицательном результате эти изменения незначительны. Однако зафиксированные изменения относительных величин частотных составляющих ЭЭГ не имеют однозначного характера, поэтому требуется проведение большего числа экспериментов для получения обоснованных заключений.

Заключение. Применение электроэнцефалографии в медицинской практике позволяет получить различные новые данные о работе нейронной сети головного мозга человека, оценить эффективность применяемых методик лечения. 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, проводимых с целью получения новых информативно-значимых параметров для сравнительного анализа ЭЭГ. Следует отметить, что полученные результаты требуют подтверждения на большом объеме реальных данных.

Список литературы

[1] Электроэнцефалография: руководство / М.В. Александров, Л.Б. Иванов, С.А. Лытаев [и др.]. Под ред. М.В. Александрова. 3-е изд., перераб. и доп. – Санкт-Петербург: СпецЛит, 2020. — 224 с.

- [2] Зенков, Л.Р. Клиническая электроэнцефалография (с элементами эпилептологии). - 2-е изд., испр. и доп. - М.: МЕДпресс-информ, 2002. - 368 с.
- [3] Докукина Т.В., Мисюк Н.Н. Визуальная и компьютерная ЭЭГ в клинической практике. - Минск: Книгзбор, 2011. - 187 с.
- [4] Павлова Л.П. Доминанты деятельного мозга человека. Системный психофизиологический подход к анализу ЭЭГ. СПб.: Информ-навигатор; 2017. - 430 с.
- [5] 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
- [6] Лайонс Р. Цифровая обработка сигналов. - М.: ООО «Бином-Пресс», 2006. - 656 с.
- [7] Кулаичев А.П. Компьютерная электрофизиология и функциональная диагностика. Москва: ИНФРА-М; 2018. - 469 с.
- [8] Бранцевич П.Ю. Цифровая обработка вибрационных сигналов. - Минск: Бестпринт, 2022. - 297 с.
- [9] 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.
- [10] Бранцевич П.Ю. Информативные параметры электроэнцефалограмм. Прикладные проблемы оптики, информатики, радиофизики и физики конденсированного состояния: материалы седьмой Междунар. науч.-практ. конф. 18-19 мая 2031 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.
- [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. 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 / редкол. : В. А. Богуш [и др.]. - Минск: БГУИР, 2024. - С. 101-112.
- [13] Бранцевич П.Ю. Докукина Т.В., Мисюк Н.Н., Королевич П.П. Информативные признаки и характеристики электроэнцефалограмм / Медэлектроника – 2024. Средства медицинской электроники и новые медицинские технологии : сб. науч. ст. XIV Междунар. науч.-техн. конф. (Республика Беларусь, Минск, 5-6 декабря 2024 года). - Минск : БГУИР, 2024. - С. 63-69.
- [14] 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 Юльянович – цифровая обработка сигналов и сравнительный анализ электроэнцефалограмм, формирование статьи

DECOMPOSITION OF DIGITAL SIGNALS OF ELECTROENCEPHALOGRAMS IN THEIR COMPARATIVE ANALYSIS

P.J. Brancevich
*Grand PhD courses of BSUIR,
PhD of Technical Sciences,
Associate Professor*

Abstract. Digital processing of electroencephalograms (EEG), reflecting in a certain sense the state of the neural network of the human brain, is a modern method for determining their informative and significant parameters and characteristics. The article considers a method for representing EEG as a sum of components isolated in narrow frequency bands, which are essentially fragments of modulated harmonics. Examples of comparative EEG analysis are given to assess the effect of electroconvulsive therapy on the state of the neural network of the human brain.

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