

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г.ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра физики открытых систем

**Анализ спектральных компонент записей ЭЭГ с помощью оконного  
преобразования Фурье**

**АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ**

Студента 4 курса 4041 группы  
направления 09.03.02 «Информационные системы и технологии»  
Института Физики  
Андреева Данила Андреевича

Научный руководитель  
доцент кафедры физики  
открытых систем, к.ф. –м.н.

\_\_\_\_\_

дата, подпись

А.О. Сельский

Заведующий кафедрой  
физики открытых систем  
д.ф. –м.н., профессор

\_\_\_\_\_

дата, подпись

А.А. Короновский

Саратов 2023 год

## Введение

Изучение ЭЭГ головного мозга с помощью спектра Фурье позволяет нам лучше понять и анализировать электрическую активность мозга. ЭЭГ является одним из основных методов исследования мозговой активности, который измеряет электрические потенциалы, генерируемые нейронами в различных областях головного мозга. Данный метод широко используется в медицине, нейрофизиологии, психологии и других научных областях для изучения мозговой деятельности, распознавания патологических состояний, а также для разработки новых методов диагностики и лечения.

Использование преобразования Фурье в анализе ЭЭГ позволяет преобразовать сигналы, полученные от электродов, в частотный диапазон [1]. Анализ Фурье позволяет нам выделить основные частотные компоненты сигнала, исследовать их амплитуды и изменение во времени [1]. Этот подход открывает новые возможности для понимания особенностей мозговой активности, выявления связей между различными областями мозга и исследования динамики мозговых сетей.

Целью данного исследования является изучение ЭЭГ головного мозга с использованием спектра Фурье с целью анализа его частотных характеристик и выявления связей между максимальной амплитудой и частотой сигнала.

Изучить основы электроэнцефалографии (ЭЭГ) и принципы его применения в исследованиях мозговой активности.

Разработать программу для построения спектра Фурье с использованием оконного метода на основе полученных данных ЭЭГ.

Проанализировать полученные данные ЭЭГ для 7 человек по 1 каналу и для каждого канала провести вычисления спектра Фурье с использованием заданного количества окон (100 для каждого канала).

Изучить зависимость максимальной амплитуды от номера окна для каждого канала и построить соответствующую зависимость.

Изучить зависимость максимальной частоты от номера окна для каждого канала и построить соответствующую зависимость.

## **Основное содержание работы**

### **Основные понятия и определения:**

**Электроэнцефалография (ЭЭГ):** исследование электрической активности головного мозга, регистрируемой с помощью электродов, которые размещаются на поверхности скальпа. ЭЭГ предоставляет информацию о состоянии и функционировании мозга [2].

**Спектр Фурье:** Метод анализа сигнала, который преобразует сигнал из временной области в частотную область. Он позволяет определить амплитуду и частоту различных составляющих сигнала, позволяя проводить более детальный анализ его спектральных характеристик [2].

**Оконный метод:** Метод, используемый для анализа временно-переменных сигналов, таких как ЭЭГ, который разбивает сигнал на перекрывающиеся фрагменты, называемые окнами. Этот метод позволяет проводить анализ спектра сигнала во времени и отслеживать изменения его частотных характеристик [2].

**Максимальная амплитуда:** Наибольшая амплитуда сигнала, измеренная в определенном окне и на определенном канале. Она отражает максимальное отклонение электрического потенциала в данном окне и является показателем интенсивности активности мозга [2].

**Максимальная частота:** Наивысшая частота сигнала, измеренная в определенном окне и на определенном канале. Она отражает наивысшую частоту колебаний сигнала в данном окне и указывает на доминирующую частоту активности мозга в данном временном отрезке [2].

### **Описание методологии исследования:**

Была проведена запись электроэнцефалографических (ЭЭГ) сигналов для 7 человек. Данные были собраны с использованием электродов, размещенных на скальпе согласно стандартным расположениям 31 канала. В начале работы для простоты для каждого человека были обработаны только каналы O2. Запись производилась в течение определенного временного интервала с высокой частотой дискретизации.

Для каждого человека было произведено вычисление максимальной амплитуды и максимальной частоты сигнала для каждого окна. Затем были построены зависимости максимальной амплитуды и максимальной частоты от номера окна для каждого человека.

Для каждого окна, после применения оконной функции, программа вычисляет преобразование Фурье для получения спектра сигнала. Преобразование Фурье переводит сигнал из временной области в частотную область, позволяя анализировать его составляющие частоты.

Для каждого окна и каждого человека, программа определяет максимальную амплитуду и соответствующую максимальную частоту в спектре Фурье. Эти значения записываются для дальнейшего анализа.

После вычисления спектра Фурье, программа может предоставить визуализацию зависимости спектральной плотности от частоты. Это помогает в анализе динамики мозговой активности и выявлении связей между спектральными характеристиками и функциональными состояниями мозга.

## Результаты и анализ данных:

Для расчета спектра Фурье использовалась следующая формула:

$$X(\omega) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n)w(n) \cdot e^{-j\omega n}$$

Где:

$X(\omega)$  представляет собой спектральное представление сигнала после применения окна;

$x(n)$  - входной сигнал;

$w(n)$  - окно, применяемое к входному сигналу;

$\omega$  - частота.

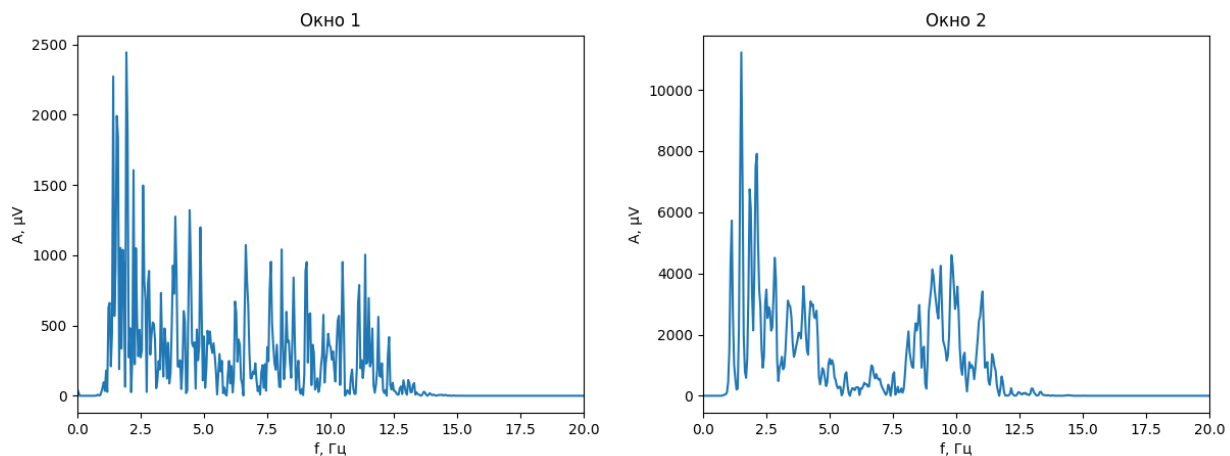


Рисунок 1. Пример спектра Фурье для двух окон

Пример расчета спектра Фурье представлен на рисунке 1. Зависимость максимальной амплитуды от номера окна. Пики появляются там, где в сигнале основные частоты.



Рисунок 2. Зависимость максимальной амплитуды от номера окна для 2-го человека.

На рисунке 2 можно наблюдать зависимость максимальной амплитуды от номера окна для 2-го человека. На рисунке отчетливо выделяются 6 пиков. Во время когнитивного теста, особенно теста, связанного с визуальным восприятием, мозг испытуемого активно обрабатывает информацию, связанную с визуальными стимулами, отображаемыми на экране.



Рисунок 3. Зависимость максимальной амплитуды от номера окна 6-го человека.

На рисунке 3 представлена зависимость максимальной амплитуды от номера окна для 6-го человека. На рисунке можно выделить 5 пиков. На рисунке нет четко выраженного возрастания или снижения амплитуды.

### **Зависимость максимальной частоты от номера окна:**



Рисунок 4. Зависимость максимальной частоты от номера окна для 2-го человека

На рисунке 4 показана зависимость максимальной частоты от номера окна для 2-го человека. На графике виден ярко выраженный 1 пик.



Рисунок 5. Зависимость максимальной частоты от номера окна для 6-го человека

На рисунке 5 показана зависимость максимальной частоты от номера окна для 6-го человека. На графике нет резких скачков частоты.

Также была построена диаграммы типа ящик с усами для максимальных частот и амплитуд. Ящик показывает интерквартильный размах для каждой из величин. Медиана представлена линией в середине каждого ящика. Усы указывают наибольшие и наименьшие значения. С помощью этих диаграмм можно визуально оценить распределение и разброс максимальных частот и амплитуд.



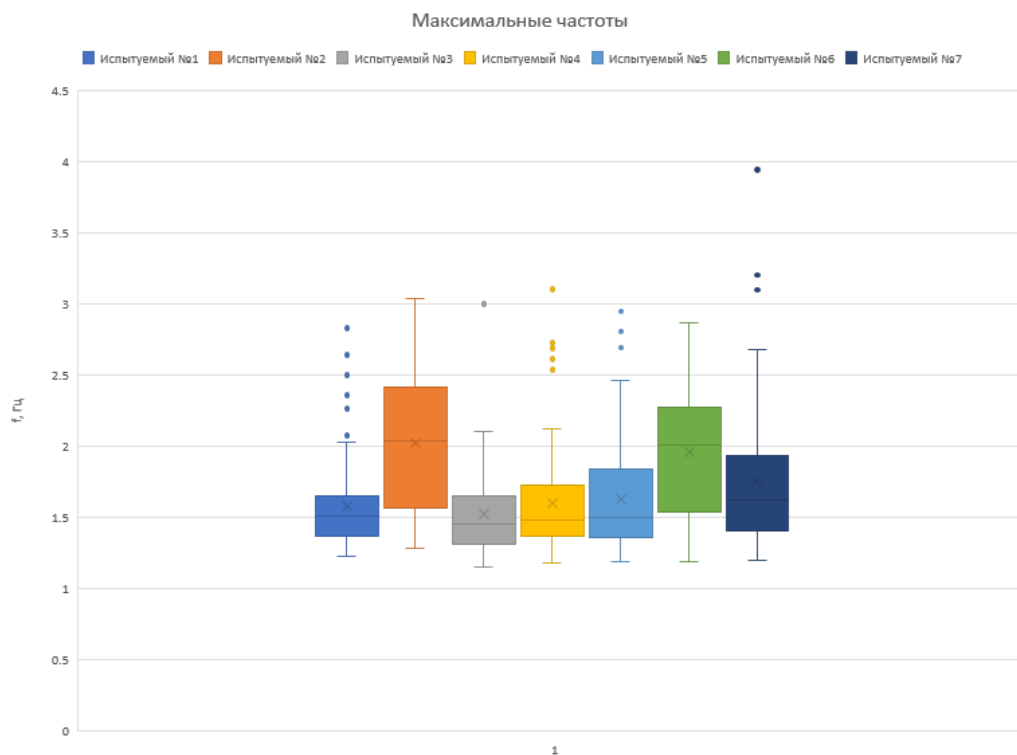


Рисунок 6. Гистограмма типа ящик с усами для максимальных частот.

Как видно из рисунка 6, у большинства испытуемых значения частоты находятся примерно в одинаковом диапазоне. В тоже время на их фоне выделяется испытуемые под №2 и №6. У них частоты в среднем выше. Кроме того, увеличен и разброс наблюдаемых частот. Так как испытуемые страдают от мигрени с разной периодичностью, такое отклонение может свидетельствовать о более частых приступах мигрени, что согласуется с опросниками испытуемых.

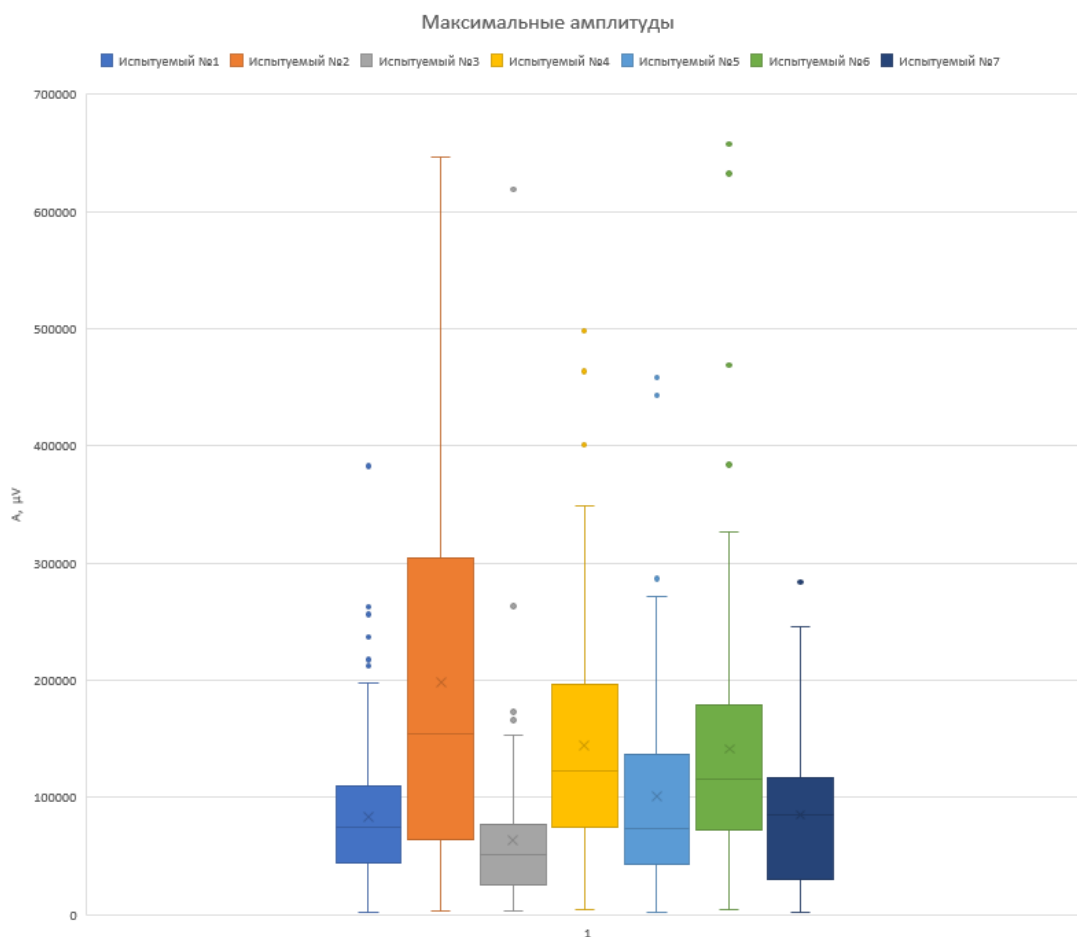


Рисунок 7. Гистограмма типа ящик с усами для максимальных амплитуд.

Как видно из рисунка 7, у большинства испытуемых значения амплитуды находятся примерно в одинаковом диапазоне. В тоже время на их фоне выделяется испытуемые под №2. У №2 максимальное значение амплитуды примерно на 270% больше остальных, а у №3 примерно на 50% меньше, чем у остальных. Таким образом, испытуемый с номером 2 вызывает наибольший интерес, исходя из полученной статистики.

## Заключение

Анализ зависимости максимальной амплитуды и частоты от номера окна позволил выявить изменения в амплитуде и спектральном содержании сигнала, что указывает на изменения в мозговой активности в различных функциональных состояниях. Это подтверждает значимость спектра Фурье в изучении мозговой активности и выявлении ее характеристик.

На основе проведенного исследования по изучению мозговой активности с помощью спектра Фурье, можно сделать следующие выводы:

Спектральный анализ сигналов ЭЭГ с использованием спектра Фурье предоставляет информацию о спектральных характеристиках мозговой активности, таких как амплитуда и частота сигнала.

Зависимость максимальной амплитуды от номера окна позволяет выявить изменения в амплитуде сигнала во времени, что может быть связано с различными функциональными состояниями мозга.

Зависимость максимальной частоты от номера окна позволяет изучать динамику частотной составляющей мозговой активности и выявлять изменения в доминирующей частоте сигнала.

Полученные результаты подтверждают гипотезу о возможности использования спектра Фурье для изучения мозговой активности и выявления ее характеристик.

### **Список литературы:**

- [1]. Dian C. R. Novitasari, M. Hasan Bisri, Ahmad Hanif Asyhar. Classification of EEG Signals using Fast Fourier Transform (FFT) and Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS). *Jurnal Matematika MANTIK*, 2019.
- [2]. Amjed S. Al-Fahoum and Ausilah A. Al-Fraihat. Methods of EEG Signal Features Extraction Using Linear Analysis in Frequency and Time-Frequency Domains. *ISRN Neurosci*, 2014.
- [3]. Michael Cerna and Audrey F. Harvey. The Fundamentals of FFT-Based Signal Analysis and Measurement. *NI Application Note 041*.
- [4]. Pascual-Marqui, R. D. Discrete, 3D distributed, linear imaging methods of electric neuronal activity. Part 1: exact, zero error localization, 2007.
- [5]. Sanei, S., & Chambers, J. A. . EEG signal processing. John Wiley & Sons, 2007.
- [6]. Başar, E., Başar-Eroğlu, C., Karakaş, S., & Schürmann, M. Are cognitive processes manifested in event-related gamma, alpha, theta and delta oscillations in the EEG?. *Neuroscience letters*, 2000.
- [7]. Makeig, S., Bell, A. J., Jung, T. P., & Sejnowski, T. J. Independent component analysis of electroencephalographic data. In *Advances in neural information processing systems* (pp. 145-151), 1996.
- [8]. Marple, S. L.. Computing the discrete-time analytic signal via FFT. *IEEE Transactions on signal processing*, 47(9), 1999.
- [9]. McFarland, D. J., & Wolpaw, J. R.. Brain-computer interface operation of robotic and prosthetic devices. *Computer*, 44(10), 2011.
- [10]. Vanhatalo, S., & Kaila, K.. Development of neonatal EEG activity: from phenomenology to physiology. *Seminars in fetal and neonatal medicine*, 2006.