

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 полисомнографии с помощью
оконного преобразования Фурье**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

Студента 4 курса 4041 группы
направления 09.03.02 «Информационные системы и технологии»
Института Физики
Маслюкова Артема 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

Тема данного исследования - анализ данных ЭЭГ с помощью оконного преобразования Фурье. Электроэнцефалограмма (ЭЭГ) - это метод исследования активности головного мозга, который широко используется в медицине и науке.

Цель данной работы - провести анализ данных ЭЭГ с помощью оконного преобразования Фурье для трех записей одноканального сигнала ЭЭГ, полученного во время ночного сна.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

- Изучить основы метода оконного преобразования Фурье и его применение в анализе ЭЭГ.
- Провести предварительную обработку данных ЭЭГ и разделить каждую запись на окна с фиксированной длиной.
- Применить оконное преобразование Фурье к каждому окну и получить спектральную информацию.
- Выделить частоту с наибольшей амплитудой для каждого спектра и построить зависимости данных частоты и амплитуды от номера окна для каждой записи.
- Проанализировать полученные зависимости и выявить особенности в спектре частот для каждой записи.

Основное содержание работы

Описание методологии

В данном исследовании был использован метод оконного преобразования Фурье для анализа данных ЭЭГ ночного сна. Метод заключается в разбиении сигнала на несколько временных окон фиксированной длины и применении к каждому окну преобразования Фурье для получения спектральной информации.

Первым этапом работы была предварительная обработка данных ЭЭГ. Были удалены артефакты, вызванные движениями головы и глаз, и проведена фильтрация сигнала с помощью фильтра нижних частот с частотой среза 0,5 Гц.

Затем каждая запись была разделена на окна длиной 288 секунд. Для каждого окна было проведено преобразование Фурье с помощью быстрого преобразования Фурье (БПФ) [3] для получения спектра.

Для каждого спектра по каждому окну была выделена частота с наибольшей амплитудой. Затем были построены зависимости частоты и амплитуды от номера окна для каждой записи, что позволило нам проанализировать, какие частоты преобладают в каждой записи.

Для анализа данных была использована статистическая обработка с помощью программы Python. Для визуализации полученных результатов были использованы диаграммы и графики, построенные в библиотеке Matplotlib.

Обработка и анализ данных

Быстрое преобразование Фурье - это алгоритм дискретного преобразования Фурье, который сокращает количество вычислений для N точек с $2N^2$ до $2N \lg N$, где \lg - двоичный логарифм. Формула быстрого преобразования Фурье(2):

$$\sum_{n=0}^{N-1} e^{-2\pi i n k / N} \quad (2)$$

На рисунке 1 показан пример построения спектра данных ЭЭГ.

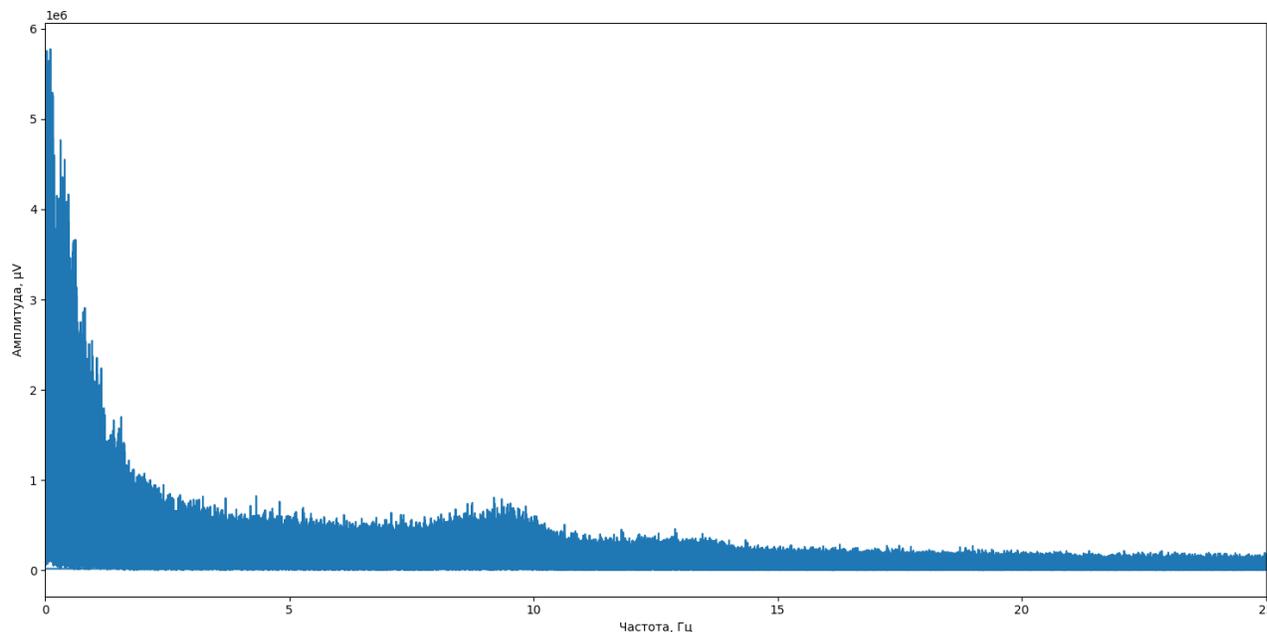


Рисунок 1. Спектр Фурье в первую ночь для первого человека.

Для анализа данных ЭЭГ, полученных в результате проведения физиологического эксперимента, был использован метод оконного преобразования Фурье (ОПФ). ОПФ - это метод анализа сигналов, позволяющий получать информацию о спектральной составляющей сигнала на разных временных отрезках [1].

Все вычисления и анализ данных были выполнены с помощью Python, используя открытые библиотеки для анализа сигналов

Оконное преобразование Фурье

Оконное преобразование Фурье (ОПФ) - это метод анализа сигналов, который позволяет оценить спектр частот в заданном временном интервале [5]. Этот метод

является одним из наиболее распространенных методов анализа сигналов и широко используется в обработке сигналов, в том числе в анализе данных ЭЭГ.

ОПФ выполняет преобразование Фурье для каждого окна в заданном временном интервале и затем комбинирует эти преобразования вместе, чтобы получить оценку спектра частот во времени. Этот подход позволяет изучить, как изменяется спектр частот на протяжении записи, что может быть полезным для анализа динамики сигнала.

Построение зависимости амплитуды от номера окна

Построение зависимости амплитуды от номера окна позволяет оценить, как меняется амплитуда доминирующей частоты во времени. Для построения этой зависимости необходимо для каждого окна взять максимальное значение амплитуды.

После этого, можно построить график, где по оси абсцисс будут отложены номера окон, а по оси ординат - значения амплитуды для доминирующей частоты для каждого окна. Этот график позволит оценить, как меняется амплитуда доминирующей частоты во времени и какие колебания встречаются в ходе анализа данных ЭЭГ.

Для трех человек, для которых были записаны данные ЭЭГ во время ночного сна, можно проанализировать данные с помощью ОПФ. Для каждого человека были построены зависимости доминирующей частоты от номера окна и соответствующей ей амплитуды.

Пример спектра для нескольких окон приведен на рисунке 2.

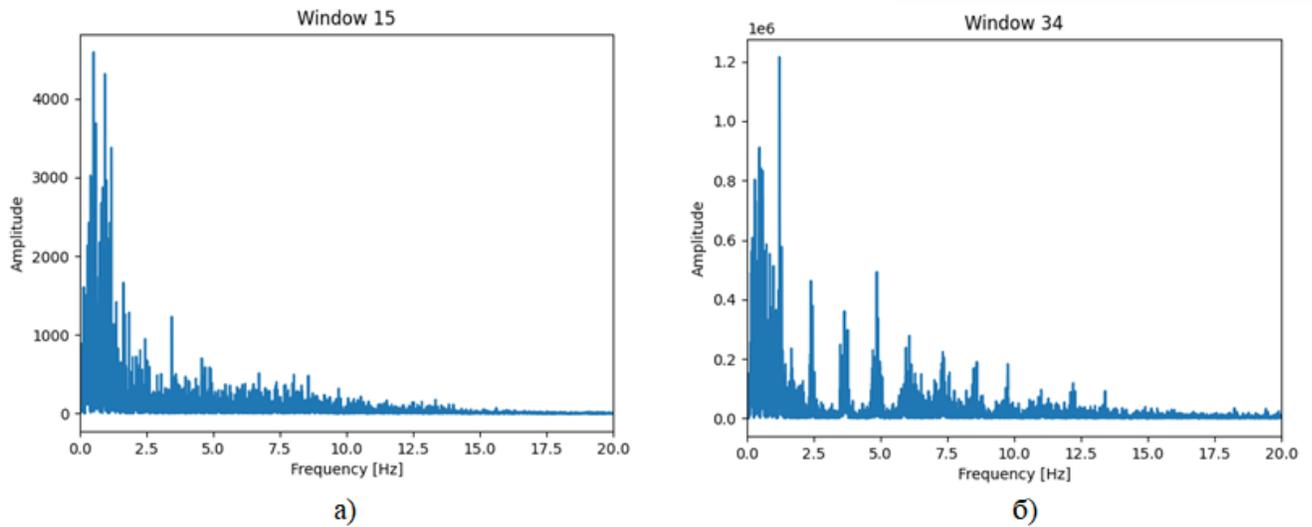


Рисунок 2. Спектр Фурье пятнадцатого окна в первую ночь для первого человека(а) и спектр Фурье тридцать четвёртого окна во вторую ночь для второго человека(б).

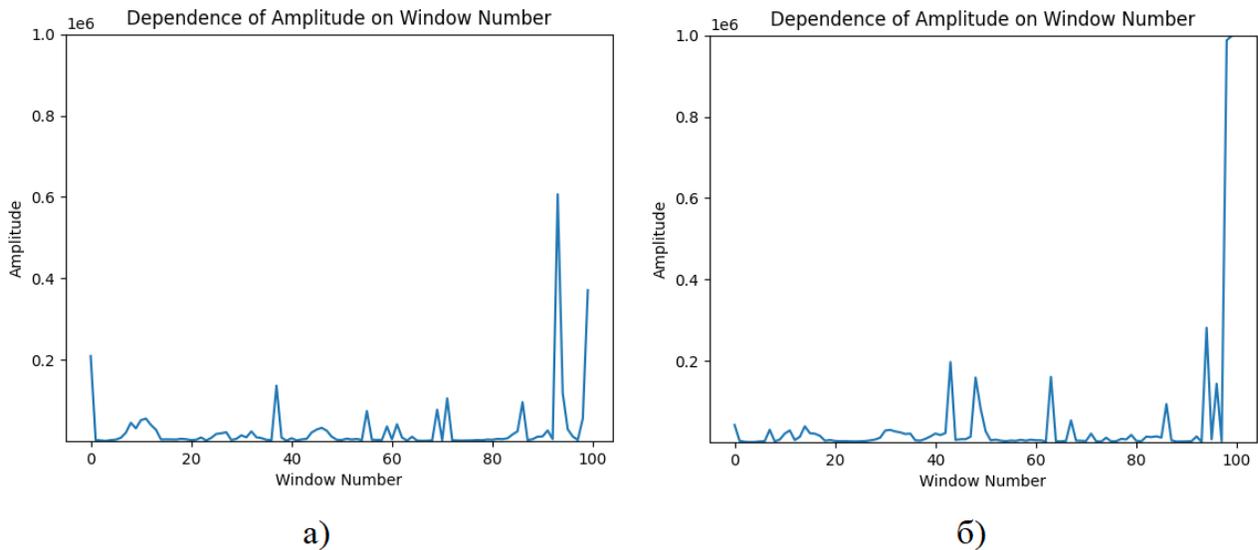


Рисунок 3. Зависимость максимальной амплитуды от номера окна в первую ночь(а) и во вторую ночь(б) для первого человека

На рисунке 3 можем наблюдать, что максимальная амплитуда в первую и вторую ночь различается на ~30%. На графике второй ночи меньше пиков чем на

графике первой ночи. Значения находятся в нормальном диапазоне [7]. 1-й испытуемый условно здоров.

На рисунке 4 можем наблюдать, что максимальная амплитуда в первую и вторую ночь различается на ~15%, и на ~70% больше чем у здорового человека. На графике второй ночи примерно столько же пиков сколько и на графике первой ночи. Это может свидетельствовать о наличии патологий [8]. 2-й испытуемый с болезнью Паркинсона.

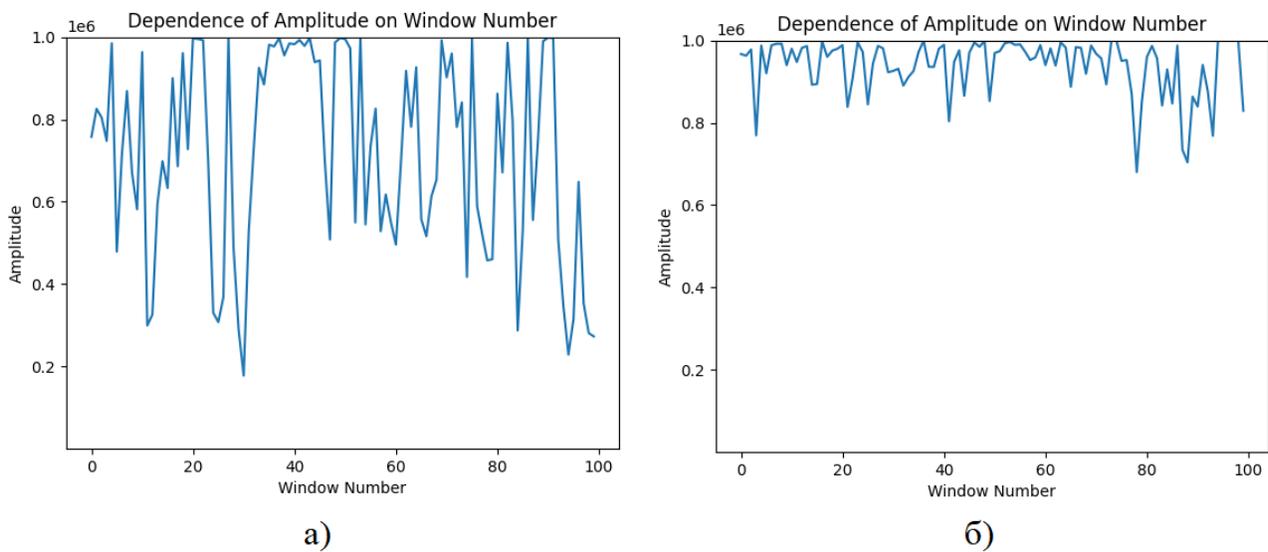


Рисунок 4. Зависимость максимальной амплитуды от номера окна в первую ночь(а) и во вторую ночь(б) для второго человека.

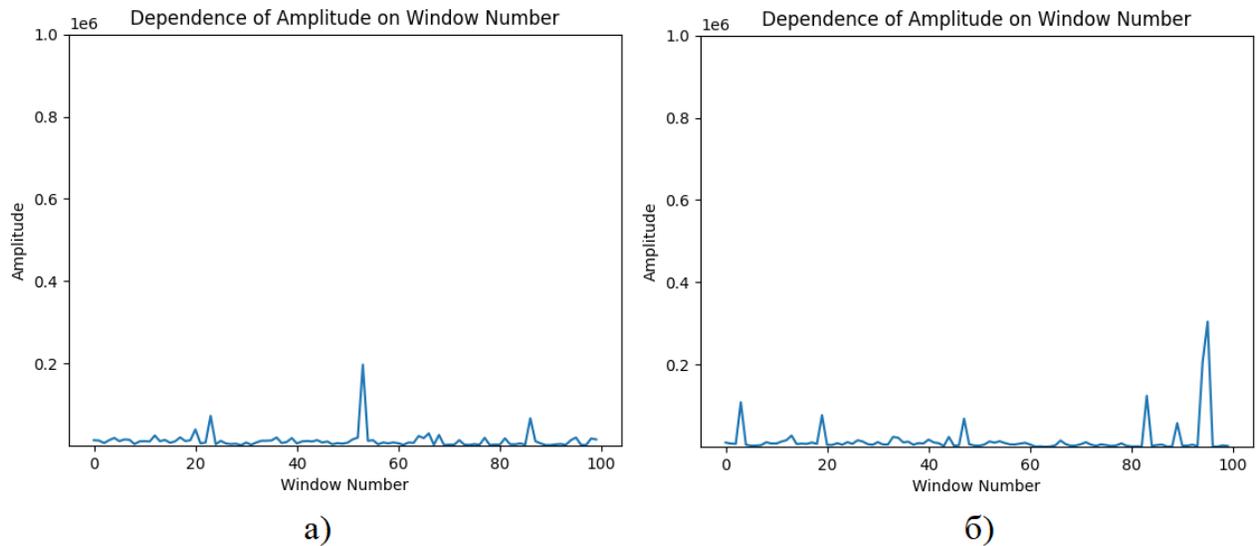


Рисунок 5. Зависимость максимальной амплитуды от номера окна в первую ночь(а) и во вторую ночь(б) для третьего человека.

На рисунке 5 можем наблюдать, что максимальная амплитуда в первую и вторую ночь различается на $\sim 50\%$, и на $\sim 50\%$ меньше чем у здорового человека. На графике второй ночи примерно столько же сколько и на графике первой ночи. Это может свидетельствовать о наличии патологий [8]. Так же на графике можно наблюдать периодические колебания, это может свидетельствовать о частом пробуждении [7]. 3-й испытуемый с ночным апноэ(остановка дыхания во время сна).

Построение зависимости частоты от номера окна

Построение зависимости частоты, соответствующей максимальной амплитуде, от номера окна позволяет оценить, как изменяется доминирующая частота во времени [9]. Для построения этой зависимости необходимо для каждого окна определить частоту с наибольшей амплитудой, т.е. ту частоту, которая является наиболее выраженной в этом окне [10].

После того, как для каждого окна определена частота с наибольшей амплитудой, можно построить график, где по оси абсцисс будут отложены номера окон, а по оси ординат - значения частоты с наибольшей амплитудой для каждого окна. Этот график позволит оценить, как изменяется доминирующая частота во времени и какие колебания встречаются в ходе анализа данных ЭЭГ.

На рисунке 6 можем наблюдать, что частота в первую и вторую ночь находится в нормальном диапазоне [7]. Испытуемый условно здоров.

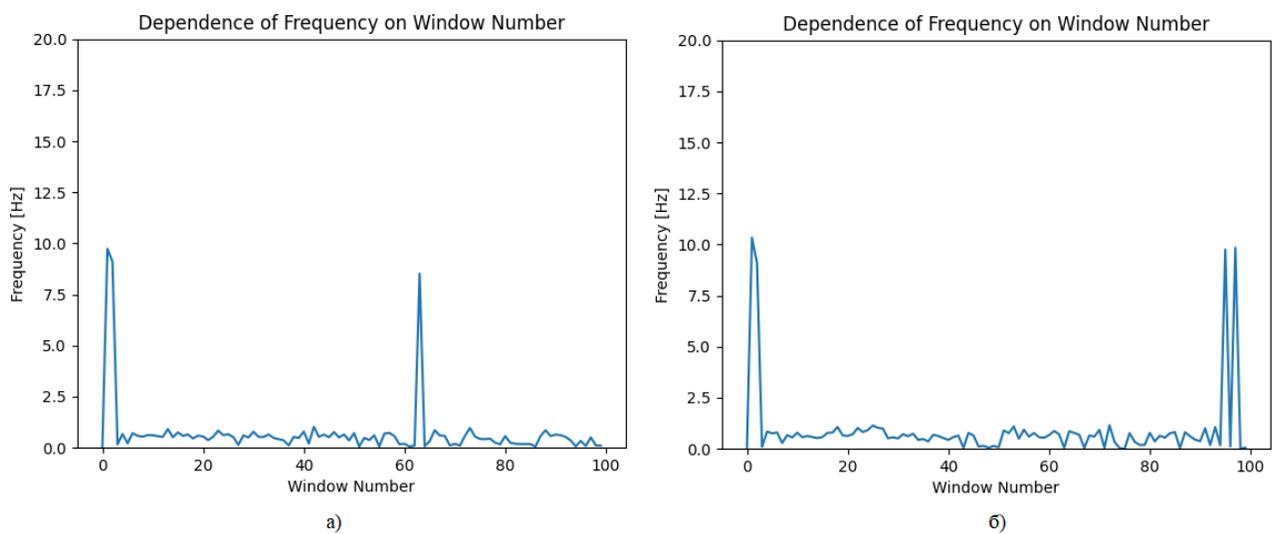


Рисунок 6. Зависимость доминирующей частоты от номера окна в первую ночь(а) и во вторую ночь(б) для первого человека.

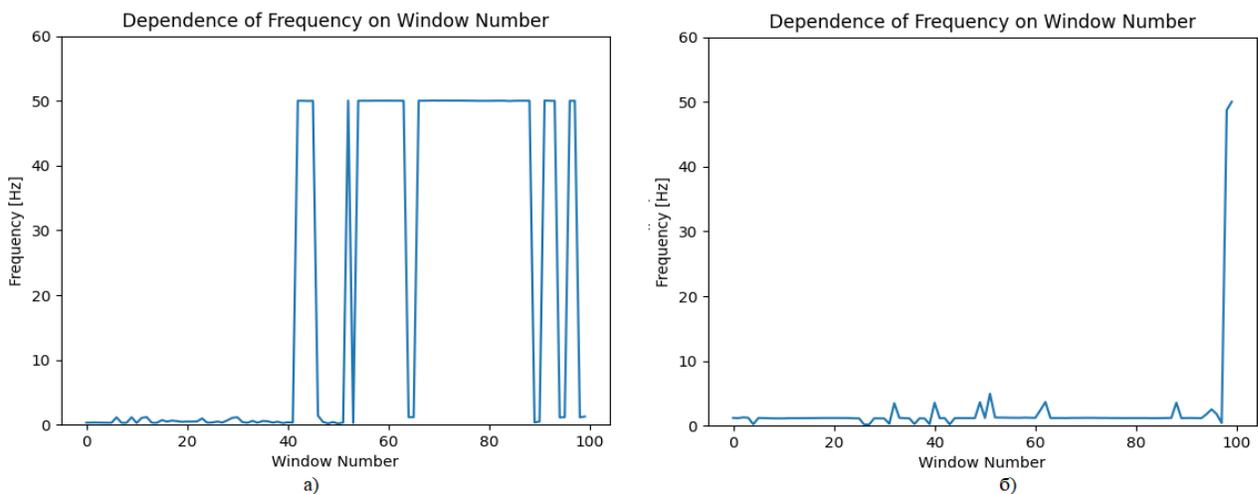


Рисунок 7. Зависимость доминирующей частоты от номера окна в первую ночь(а) и во вторую ночь(б) для второго человека [7].

На рисунке 7 можем наблюдать, что частота в первую и вторую ночь находится диапазоне высокочастотной активности что может свидетельствовать об отклонении [7]. Испытуемый с болезнью Паркинсона.

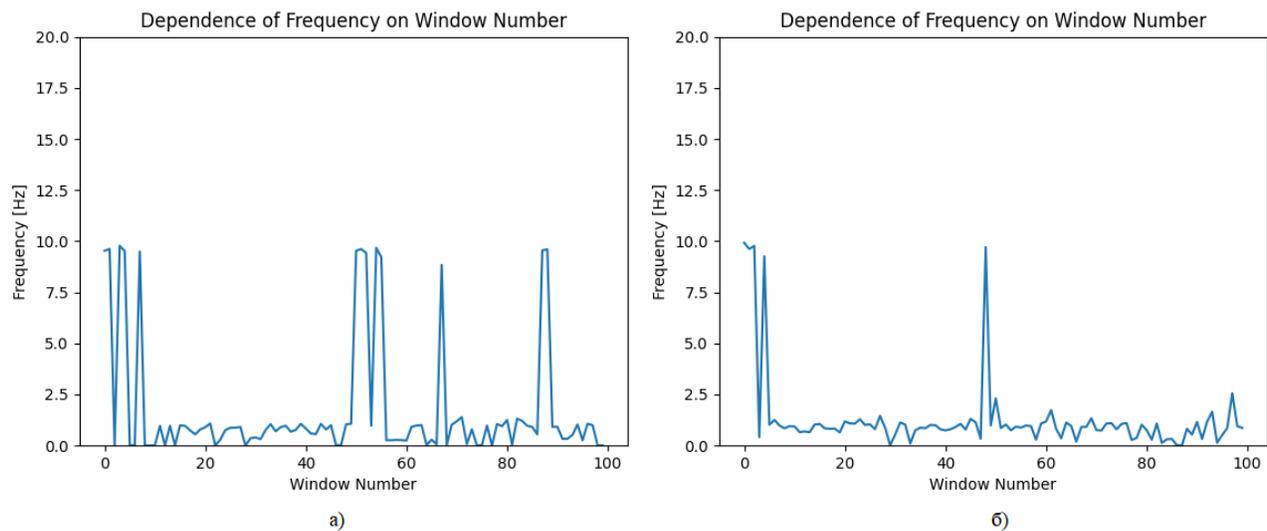


Рисунок 8. Зависимость доминирующей частоты от номера окна в первую ночь(а) и во вторую ночь(б) для третьего человека.

На рисунке 8 можем наблюдать, что частота в первую и вторую ночь находится в нормальном диапазоне, но количество пиков на графике больше чем у здорового человека. Это может свидетельствовать о частом пробуждении во время сна [7]. Испытуемый с ночным апноэ.

Заключение

В результате исследования были получены данные ЭЭГ для трех человек во время ночного сна. Для каждой записи каждого человека было построено оконное преобразование Фурье, используя 100 окон. Для каждого спектра по каждому окну была выделена частота с наибольшей амплитудой и построены зависимости частоты и амплитуды от номера окна.

Анализ полученных результатов показал, что для каждого человека характерна индивидуальная спектральная характеристика, которая отражает особенности его ночного сна.

Таким образом, оконное преобразование Фурье является эффективным методом анализа данных ЭЭГ для изучения спектральных характеристик сна. Результаты этого исследования могут быть полезными для дальнейшего изучения особенностей ночного сна и различных патологий, связанных с ними.

Список литературы

1. Rongyan Shang, Changqing Peng, Pengfei Shao, Ruiming Fang. FFT-based equal-integral-bandwidth feature extraction of vibration signal of OLTC. Math Biosci, 2021.
2. Amalia Torre, in Linear Ray and Wave Optics in Phase Space, 2005.
3. P. Heckbert. Fourier Transforms and the Fast Fourier Transform (FFT) Algorithm, 1995.
4. A. Morley and L. Hill. 10-20 system EEG Placement, 2016.
5. R. W. Johnson. Some Notes on the Use of the Windowed Fourier Transform for Spectral Analysis of Discretely Sampled Data, 2013.
6. Arfken, G. "Development of the Fourier Integral," "Fourier Transforms--Inversion Theorem," and "Fourier Transform of Derivatives. Mathematical Methods for Physicists. Orlando, FL: Academic Press, 1985.
7. Chetan S. Nayak; Arayamparambil C. Anilkumar. EEG Normal Waveforms. StatPearls, 2023.
8. P Y Ktonas. Period-amplitude EEG analysis. Sleep, 1987.
9. Nima Bigdely-Shamlo, Jonathan Touryan, Alejandro Ojeda, Christian Kothe, Tim Mullen, Kay Robbins. Spectral and amplitude characteristics across studies. Neuroimage, 2020.
10. 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.