

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский ядерный университет “МИФИ”»

Научно-образовательный центр НЕВОД

ОТЧЕТ

о прохождении производственной практики
(научно-исследовательской работы)

«ИССЛЕДОВАНИЕ НЕАКТИВНЫХ УЧАСТКОВ ГОЛОВНОГО МОЗГА

Студент: Чернышев С.А.

Группа: Б21-215

Научный руководитель: Климанов С.Г.

г. Москва
2024

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|---|----|
| ВВЕДЕНИЕ | 4 |
| 1 РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОГРАММЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БИБЛИОТЕКИ MNE | 7 |
| 1.1 Считывание данных и их первичный анализ | 7 |
| 1.2 Предобработка данных | 8 |
| 2 АНАЛИЗ ДАННЫХ ТОПОГРАФИЧЕСКИХ КАРТ | 12 |
| 2.1 Предобработка | 12 |
| 2.2 Создание видеоролика | 14 |
| 2.3 Вычисление неактивной области по временным интервалам ... | 15 |
| 3 ПРЕДСТАВЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ | 16 |
| 3.1 Графики процента неактивной области | 16 |
| 3.2 Среднее значение процента неактивной области | 19 |
| 3.3 Видеоролик с изменением топографических карт по времени .. | 19 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ | 20 |
| СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | 21 |

АННОТАЦИЯ

В настоящей работе представлены результаты научного исследования, направленного на изучение зон активности головного мозга для различных диапазонов частот с посредством анализа данных электроэнцефалограмм. Основной целью исследования являлось выявление областей головного мозга с минимальной активностью.

Для выполнения поставленных задач применялась библиотека для Python MNE, посредством которой были реализованы программы, обеспечивающие считывание, предобработку и визуализацию данных электроэнцефалографии. В рамках анализа были проведены процедуры устранения низкочастотных дрейфов, а также сетевых и других узкополосных помех. Дополнительно использовалась библиотека для Python OpenCV (CV2) совместно с разработанным инструментарием для обработки изображений и выделения контуров.

В результате исследования установлено, что наименее активной зоной является центральная зона головного мозга, отвечающая за моторную активность.

ВВЕДЕНИЕ

Электроэнцефалограмма (ЭЭГ) — метод регистрации электрической активности головного мозга, который применяется для диагностики неврологических расстройств, мониторинга функционального состояния мозга и научных исследований в области нейрофизиологии. В медицинской практике она используется для диагностики эпилепсии, расстройств сна, оценивания состояния мозга после травм, инсультов и других паталогических состояний. В нейрофизиологии и когнитивных науках ЭЭГ применяется для изучения функций мозга, таких как внимание, восприятие и память.

ЭЭГ позволяет получить информацию о временной динамике и распределении электрической активности мозга с помощью электродов, размещенных на поверхности головы. Сигналы, записываемые в процессе ЭЭГ, представляют собой колебания потенциалов, возникающих в результате активности нейронных связей. Эти колебания могут быть классифицированы по частотным диапазонам, которые соответствуют различным состояниям мозга и когнитивным процессам. Основные частотные диапазоны, выделяемые в ЭЭГ-сигналах, включают:

1. Дельта-ритм (Delta): Частотный диапазон от 0 до 4 Гц. Дельта-ритм связан с глубоким сном, состоянием покоя и восстановления. В норме он наблюдается у здоровых людей только в состоянии глубокого сна, но у пациентов с эпилепсией или органическими поражениями мозга может проявляться в состоянии бодрствования.
2. Тета-ритм (Theta): Частотный диапазон от 4 до 8 Гц. Тета-ритм ассоциируется с состоянием расслабления, медитацией, сном и эмоциональными процессами. Он также связан с памятью и когнитивным функционированием, особенно в контексте релаксации и сна.
3. Альфа-ритм (Alpha): Частотный диапазон от 8 до 12 Гц. Альфа-ритм является наиболее изученным и связан с состоянием спокойного бодрствования, расслабления и отсутствия внешних стимулов.

Он наиболее выражен в затылочных областях и уменьшается при возникновении внимания или активации.

4. Бета-ритм (Beta): Частотный диапазон от 12 до 30 Гц. Бета-ритм связан с активным состоянием бодрствования, когнитивной нагрузкой, вниманием и обработкой информации. Он отражает активацию корковых зон, участвующих в высших когнитивных функциях.
5. Гамма-ритм (Gamma): Частотный диапазон от 30 до 45 Гц.. Гамма-ритм связан с высокоуровневыми когнитивными процессами, такими как восприятие, внимание, обработка сложной информации и интеграция сенсорных данных. В последние годы исследования указывают на важную роль гамма-активности в когнитивных и эмоциональных процессах.

Однако, кроме полезных сигналов, в данные ЭЭГ попадают различные помехи, которые необходимо устранить для корректного анализа. Одним из наиболее часто встречающихся типов помех являются низкочастотные дрейфы, которые обычно имеют частоту ниже 1 Гц и могут быть вызваны неравномерным дыханием, изменениями кровотока или артериального давления, а также изменениями температуры тела. Эти помехи проявляются в виде медленных изменений базовой линии сигнала. Другой распространенный тип помех — мышечные артефакты, обусловленные активностью мышц головы, таких как жевательные мышцы или движения глаз, которые накладывают высокочастотные шумы на ЭЭГ-сигналы. Фильтрация сигналов осуществляется на основе преобразования Фурье, которое позволяет разделить сигнал на составляющие частоты. Удаляя нежелательные частотные компоненты и восстанавливая сигнал с оставшимися частотами, можно получить очищенные данные для дальнейшего анализа.

Топографическая карта головного мозга — это визуализация распределения электрической активности мозга на поверхности головы. Такие карты строятся на основе амплитуд сигналов ЭЭГ, зарегистрированных с разных электродов, и позволяют оценить пространственную организацию активности мозга. Топографические карты широко используются для выявления функциональных зон мозга, оценки межполушарной асимметрии

и анализа локальных изменений активности, связанных с различными когнитивными процессами или патологическими состояниями.

1 РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОГРАММЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БИБЛИОТЕКИ MNE

Программа осуществляет чтение данных электроэнцефалограммы (ЭЭГ), выполняет их анализ для выявления артефактов, а затем устраняет их с использованием фильтров с конечной импульсной характеристикой (КИХ), построенных на основе окна Хэмминга. В частности, для удаления низкочастотных дрейфов применяется высокочастотный КИХ-фильтр, а для подавления сетевых и других узкополосных помех используется узкополосный режекторный КИХ-фильтр, также реализованный с использованием окна Хэмминга.

После предварительной обработки данных осуществляется построение топографических карт электрической активности головного мозга за заданный временной интервал. Полученные изображения сохраняются для дальнейшего анализа и обработки, что позволяет исследовать пространственное распределение активности мозга и выявлять ключевые паттерны в данных.

1.1 Считывание данных и их первичный анализ

На данном этапе производится считывание данных их исследование на наличие различного рода помех.

1. Считывание ЭЭГ-данных
2. Визуальное представление считанных
 - а) Построение графика временного ряда данных для всех датчиков
 - б) Построение графика спектральной плотности мощности сигнала (СПМ)
3. Выявление помех
 - а) Низкочастотных дрейфов
 - б) Узкополосных помех

1.2 Предобработка данных

Предобработка ЭЭГ данных включает в себя несколько ключевых этапов, направленных на улучшение качества сигналов и снижение влияния помех, что критически важно для дальнейшего анализа и интерпретации результатов. Этот процесс состоит из следующих шагов:

1. Фильтрация.

ЭЭГ-сигналы подвержены различным высокочастотным и низкочастотным помехам, таким как шумы от электроприборов, мышечных артефактов и дыхания. Для удаления нежелательных частот применяют фильтрацию. В частности, в данной программе была применен высокочастотный КИХ-фильтр, построенный на основе окна Хэмминга, для удаления низкочастотных дрейфов. В данном фильтре фильтрация временного ряда выполняется с помощью свёртки исходного сигнала $x[n]$ с импульсной характеристикой фильтра $h[k]$. Формула фильтрации имеет вид:

$$y[n] = \sum_{k=0}^M h[k] \cdot x[n - k], \quad n = M, \dots, N - M, \quad (1)$$

где:

- $y[n]$ — выходной (отфильтрованный) сигнал,
- $x[n]$ — входной сигнал,
- $h[k]$ — импульсная характеристика фильтра,
- M — длина фильтра,
- N — длина входного сигнала.

Для сглаживания коэффициентов фильтра используется окно Хэмминга, определяемое следующим образом:

$$w[k] = 0.54 - 0.46 \cos\left(\frac{2\pi k}{M}\right), \quad k = 0, \dots, M. \quad (2)$$

Импульсная характеристика высокочастотного фильтра с частотой отсечки f_c задаётся как:

$$h[k] = w[k] \cdot \left(\delta[k] - \frac{\sin(2\pi f_c(k - M/2))}{\pi(k - M/2)} \right), \quad k = 0, \dots, M, \quad (3)$$

где:

- $\delta[k]$ — дельта-функция (единица при $k = M/2$, иначе ноль),
- f_c — частота отсечки в долях от частоты дискретизации,
- $w[k]$ — окно Хэмминга (см. формулу (6)).

2. Удаление артефактов.

Одними из основных источников помех являются движения глаз, миографические артефакты и электрические помехи от окружающих устройств. Для их устранения применяются различные методы, В данной программе точно применяется узкополосной режекторный КИХ-фильтр для подавления узкополосных миографических помех.

Фильтрация сигнала выполняется через свёртку входного сигнала $x[n]$ с импульсной характеристикой фильтра $h[k]$:

$$y[n] = \sum_{k=0}^M h[k] \cdot x[n - k], \quad n = M, \dots, N - M, \quad (4)$$

где:

- $y[n]$ — выходной (отфильтрованный) сигнал,
- $x[n]$ — входной сигнал,
- $h[k]$ — импульсная характеристика фильтра,
- M — длина фильтра,
- N — длина входного сигнала.

Импульсная характеристика полосозаградительного фильтра задаётся следующим образом:

$$h[k] = w[k] \cdot \left(\delta[k] - \frac{\sin(2\pi f_1(k - M/2))}{\pi(k - M/2)} + \frac{\sin(2\pi f_2(k - M/2))}{\pi(k - M/2)} \right), \\ k = 0, \dots, M \quad (5)$$

где:

- $w[k]$ — окно Хэмминга, задаваемое формулой (6),
- $\delta[k]$ — дельта-функция (единица при $k = M/2$, иначе ноль),

- f_1 и f_2 — границы вырезаемой полосы в долях от частоты дискретизации ($f_1 = f - \text{trans_bandwidth}$, $f_2 = f + \text{trans_bandwidth}$),
- M — длина фильтра.

Для сглаживания переходов в частотной характеристике фильтра применяется окно Хэмминга, определяемое как:

$$w[k] = 0.54 - 0.46 \cos\left(\frac{2\pi k}{M}\right), \quad k = 0, \dots, M. \quad (6)$$

3. Сегментация.

Этап сегментации заключается в разбиении непрерывного сигнала на короткие фрагменты или эпизоды для дальнейшего анализа. Это позволяет сосредоточиться на интересующих участках данных, таких как стимулы, реакции или события. В данной программе сегментация реализована посредством генерации топографических карт по заданному временному и частотному интервалам. После чего, вышеупомянутые карты сохраняются в формате PNG

Примеры временных срезов топографических карт для соответствующих каналов:

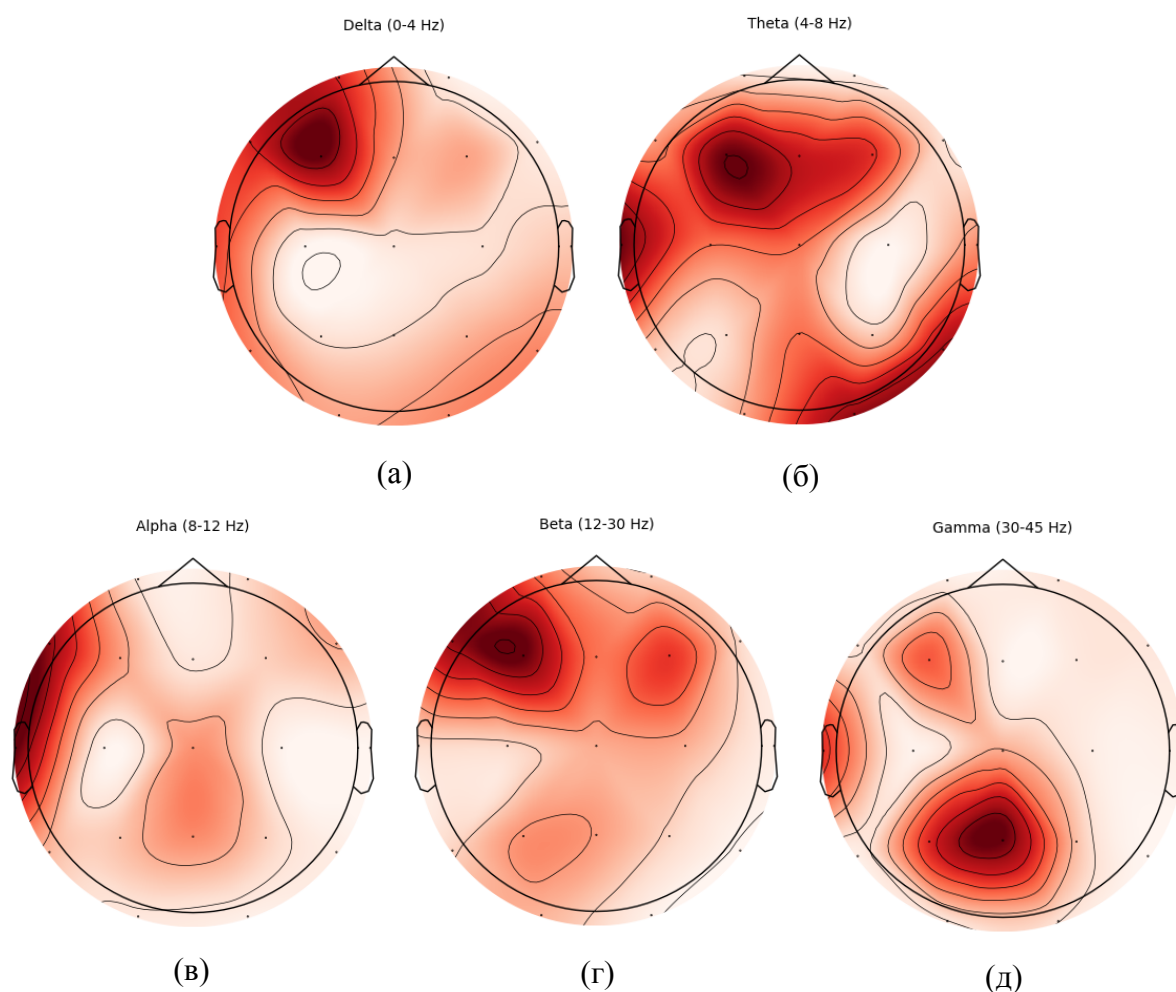


Рисунок 1 — Топографические карты построенные по соответствующим каналам. (а) - Delta-канал (0-4 Гц), (б) - Theta-канал (4-8 Гц), (в) - Alpha-канал (8-12 Гц), (г) - Beta-канал (12-30 Гц), (д) - Gamma-канал (30-45 Гц),

Задача предобработки заключается в улучшении качества ЭЭГ-сигналов, для корректного последующего анализа, включая извлечение характеристик, таких как альфа- и бета-ритмы. Недостаточная предобработка может привести к искажению результатов и ошибочным выводам, поэтому этот этап является обязательным в исследовательской практике.

2 АНАЛИЗ ДАННЫХ ТОПОГРАФИЧЕСКИХ КАРТ

Программа осуществляет чтение набора временных срезов топографических карт, соответствующих различным каналам ЭЭГ. Затем карты проходят предварительную обработку, включая обрезку и преобразование в черно-белый формат. На следующем этапе выполняется пороговая обработка изображений, что позволяет создать бинарную маску, отображающую активные и неактивные области.

На заключительном этапе временные срезы объединяются в видеоролик, предназначенный для последующего анализа. Также рассчитывается процент площади наименее активных зон для заданного канала, что позволяет оценить пространственно-временные характеристики минимальной активности мозга.

2.1 Предобработка

1. Загрузка данных

- а) Чтение всех ранее созданных PNG-файлов в указанной директории

2. Графическая обработка PNG-файлов с топографическими картами

- а) Преобразование изображений в черно-белый формат по следующей формуле:

$$I_{\text{gray}} = 0.299 \cdot R + 0.587 \cdot G + 0.114 \cdot B, \quad (7)$$

где:

- I_{gray} — яркость пикселя в градациях серого,
- R — значение красного канала (Red),
- G — значение зелёного канала (Green),
- B — значение синего канала (Blue),
- 0.299, 0.587, 0.114 — веса цветовых каналов, основанные на их вкладе в яркость в соответствии с человеческим восприятием.

- б) Обрезание изображения оптимизации последующей обработки
- в) Применение пороговой фильтрации для изображений по следующей формуле:

$$I_{\text{binary}}(x, y) = \begin{cases} I_{\text{max}}, & \text{если } I_{\text{input}}(x, y) > T, \\ I_{\text{min}}, & \text{иначе,} \end{cases} \quad (8)$$

где:

- $I_{\text{binary}}(x, y)$ — значение интенсивности пикселя в двоичном изображении,
- $I_{\text{input}}(x, y)$ — значение интенсивности пикселя в исходном изображении,
- T — пороговое значение ($T = 235$),
- I_{max} — максимальное значение интенсивности (например, 255 для 8-битных изображений),
- I_{min} — минимальное значение интенсивности (например, 0 для 8-битных изображений).

В результате этапа предобработки формируется бинарное изображение топографической карты, на котором зоны с минимальной активностью головного мозга визуализированы в виде выделенных белым цветом областей. Примеры временных срезов топографических карт для соответствующих каналов:

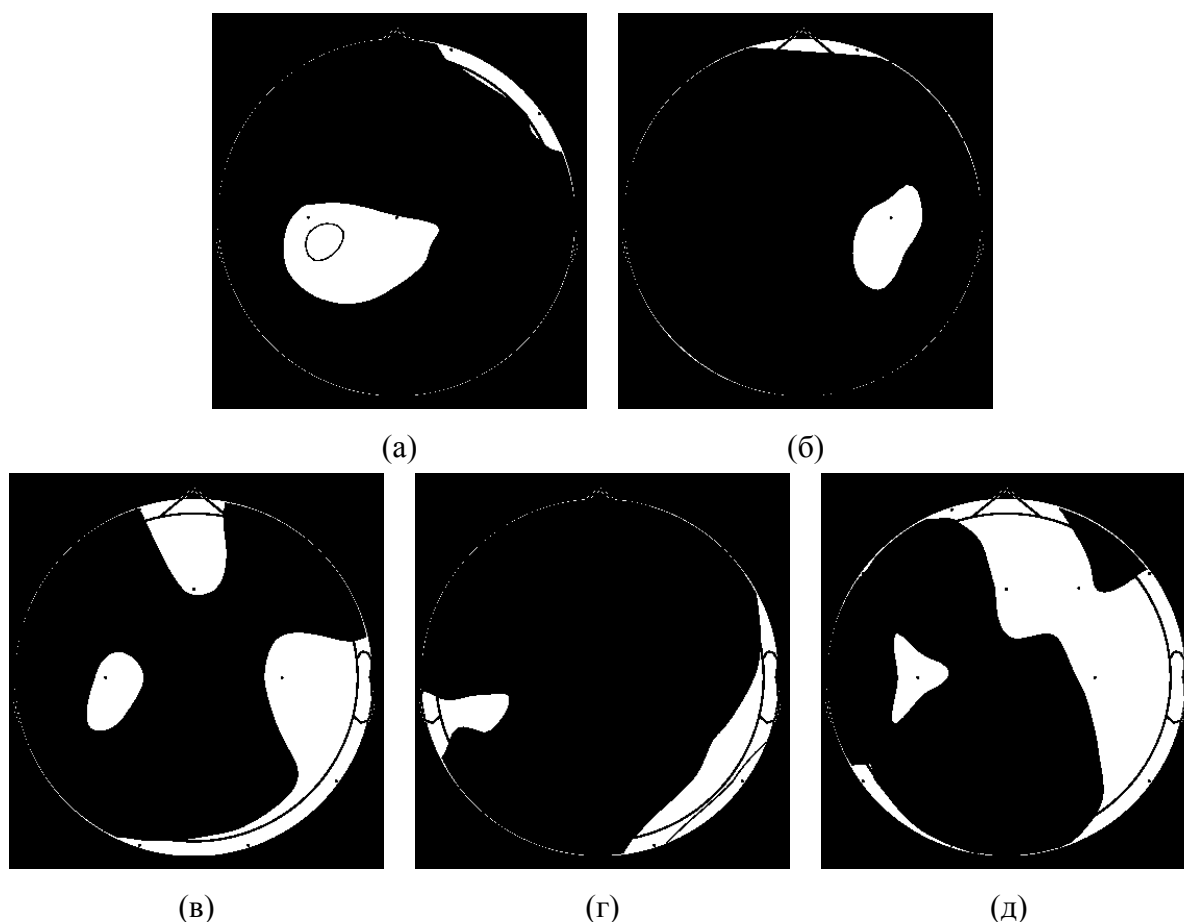


Рисунок 2 — <Бинарные изображения топографических карт из **Рисунка 1** построенные по соответствующим каналам. (а) - Delta-канал (0-4 Гц), (б) - Theta-канал (4-8 Гц), (в) - Alpha-канал (8-12 Гц), (г) - Beta-канал (12-30 Гц), (д) - Gamma-канал (30-45 Гц),

2.2 Создание видеоролика

На данном этапе все сформированные бинарные представления топографических карт последовательно объединяются в видеоролик. Этот процесс позволяет представить динамическое изменение активности головного мозга в удобной визуальной форме, что упрощает анализ временных паттернов и пространственного распределения активности. Использование видеоформата способствует более наглядной интерпретации данных, позволяет отслеживать изменения в различных зонах мозга и улучшает эффективность последующего анализа.

2.3 Вычисление неактивной области по временным интервалам

В рамках обработки данных выполняется расчет доли неактивной области относительно общей площади топографической карты. Этот показатель выражается в процентах и позволяет количественно оценить распределение зон минимальной активности на карте.

Теоретически, неактивные области определяются как регионы с амплитудой сигналов ниже заданного порогового значения, которое устанавливается в зависимости от целей исследования и характеристик данных.

Процесс вычисления основывается на бинарной маске изображения, где активные области представлены единицами, а неактивные — нулями. Соотношение суммарной площади неактивных пикселей к общей площади карты рассчитывается по формуле:

$$P_{\text{inactive}} = \frac{S_{\text{inactive}}}{S_{\text{total}}} \times 100\%, \quad (9)$$

где:

- P_{inactive} — процент неактивной области,
- S_{inactive} — площадь неактивной области, определяемая как количество пикселей, соответствующих значениям ниже установленного порога,
- S_{total} — общая площадь топографической карты, выраженная в количестве всех пикселей.

Процентное выражение позволяет проводить сравнение между разными временными срезами или картами, что важно для выявления динамических изменений активности мозга.

3 ПРЕДСТАВЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

3.1 Графики процента неактивной области

В разделе представления результатов были построены графики, отображающие процент наименее активных зон для различных каналов на каждом временном срезе. Эти графики позволяют визуализировать изменения в пространственно-временной динамике активности мозга.

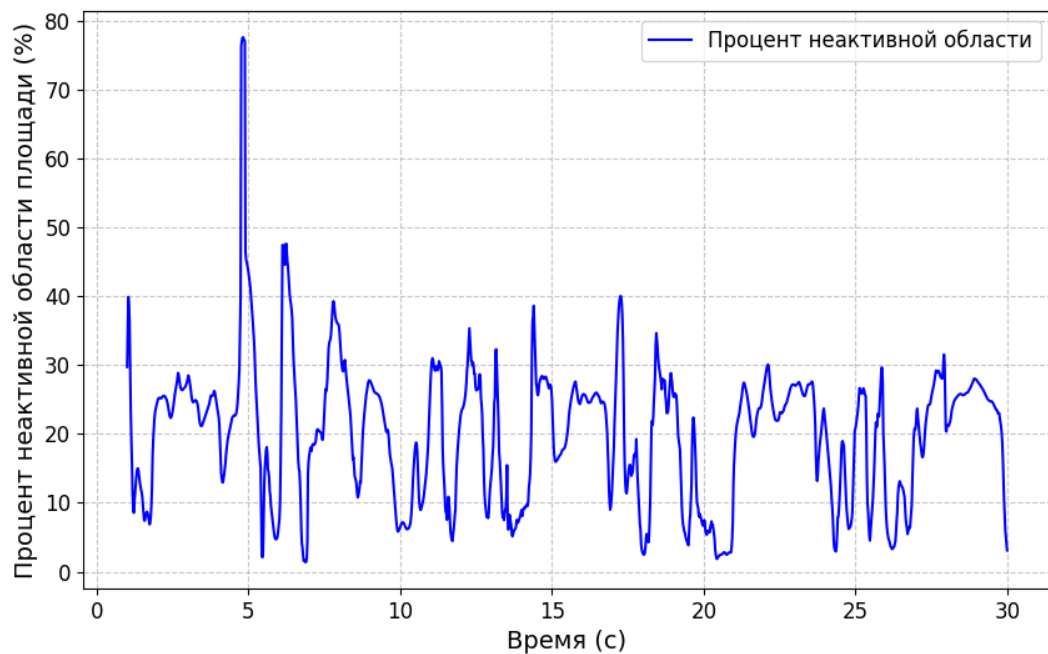


Рисунок 3 — График, отображающий процент неактивной области для Delta-канала (0-4 Гц)

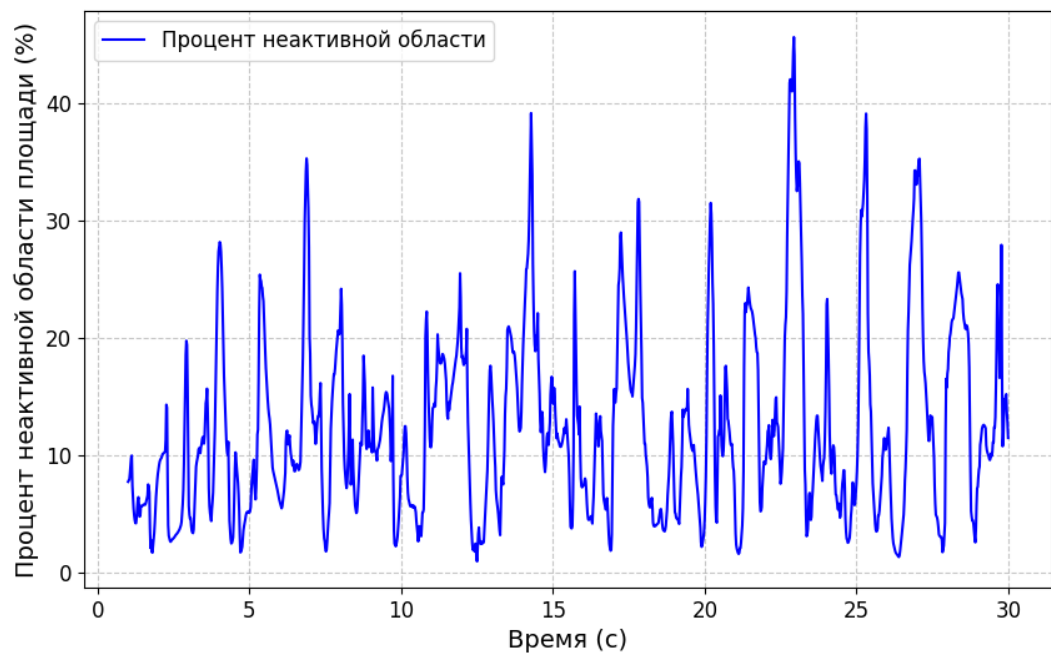


Рисунок 4 — График, отображающий процент неактивной области для Theta-канала (4-8 Гц)

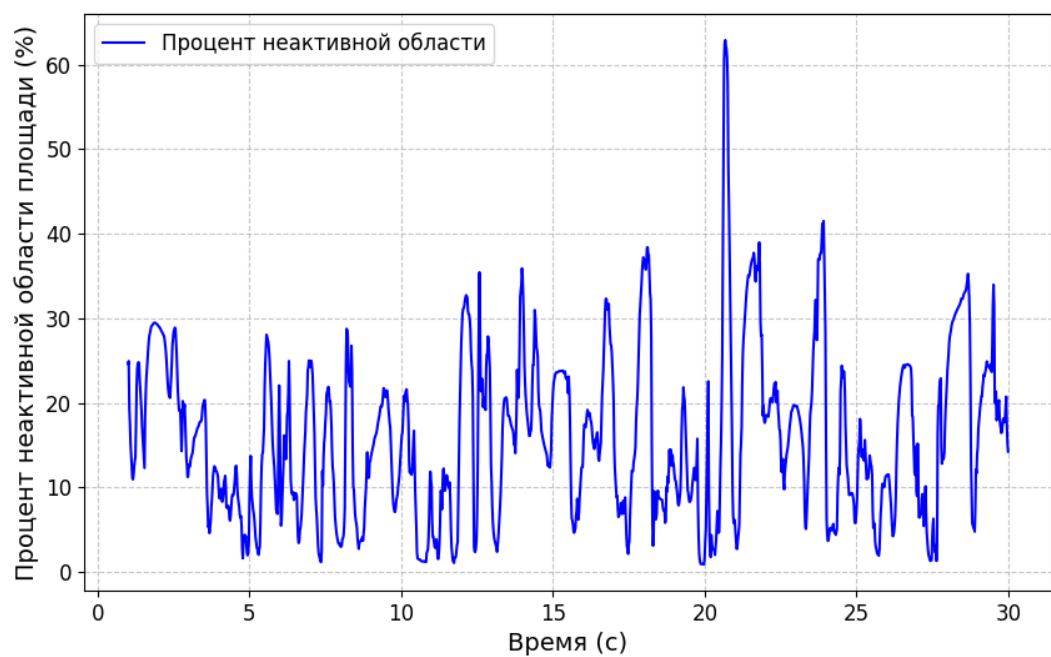


Рисунок 5 — График, отображающий процент неактивной области для Alpha-канала (8-12 Гц)

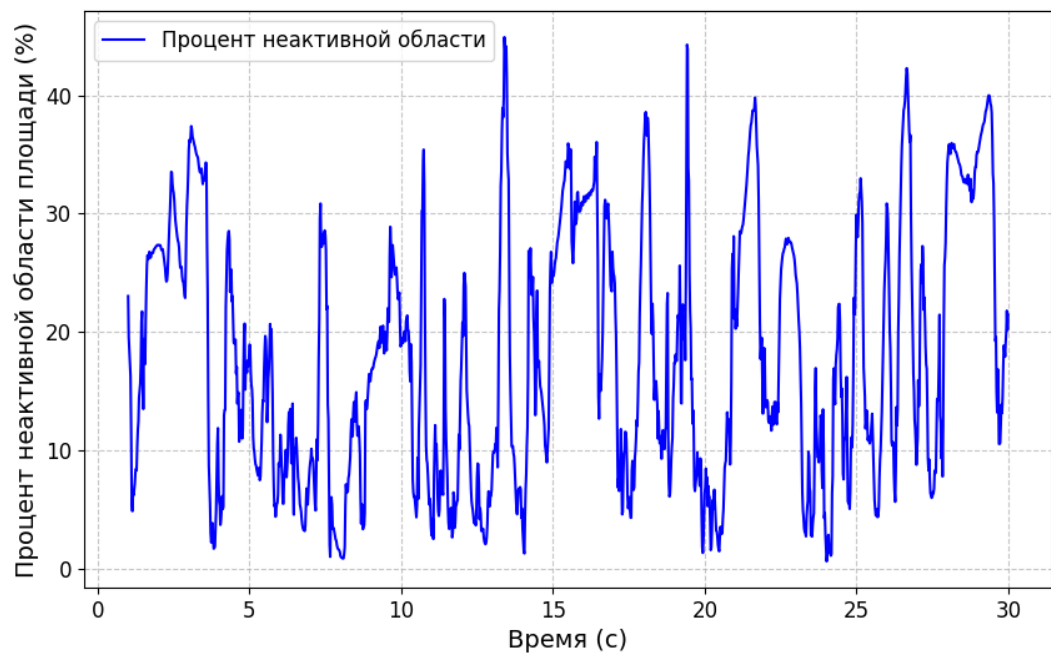


Рисунок 6 — График, отображающий процент неактивной области для Beta-канала (12-30 Гц)

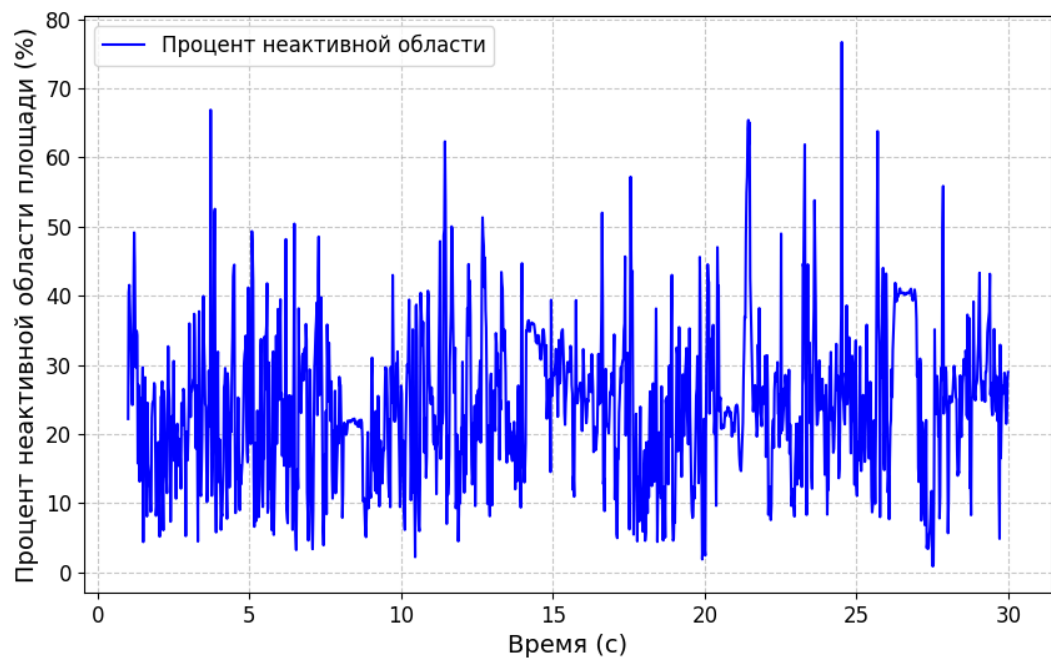


Рисунок 7 — График, отображающий процент неактивной области для Gamma-канала (30-45 Гц)

3.2 Среднее значение процента неактивной области

Было вычислено среднее значение процента неактивной области для каждого канала на протяжении всего временного интервала. Полученные данные дают общее представление о характере активности для разных областей мозга, а также помогают выявить закономерности и аномалии в распределении активности в ходе эксперимента.

Таблица 1 — Значение средних показателей процента неактивной области по частотным каналам

| Канал | Среднее значение процента неактивной зоны (%) |
|------------------------|---|
| Delta-канал (0-4 Гц) | 20.11 |
| Theta-канал (4-8 Гц) | 12.35 |
| Alpha-канал (8-12 Гц) | 15.97 |
| Beta-канал (12-30 Гц) | 17.90 |
| Gamma-канал (30-45 Гц) | 24.01 |

3.3 Видеоролик с изменением топографических карт по времени

Видео было создано посредством последовательного объединения бинарных изображений топографических карт. Каждое видео создано для отдельных каналов с соответствующими названиями. Белыми областями представлены неактивные зоны.

Видео можно посмотреть по следующей **ссылке**:

<https://drive.google.com/drive/folders/1v-PtyjnEAI0c8PzsOospUVqq7BrCfBsqr?usp=sharing>

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ данных о средних значениях процента неактивной области

По результатам данных из **Таблицы 1** можно сделать вывод, что наименее равномерное распределение мощностей сигнала в частотной области определенного канала приходится на delta- и gamma- ритмы. Это отражает нерегулярное распределение, что связано с локальными различиями и вовлеченностью отдельных зон мозга для данных ритмов. На примере alpha- и theta- каналов можно наблюдать отсутствие локализованной активности.

Анализ видеороликов

Вследствие анализа видеороликов, было выявлено, что наименее активной зоной является центральная зона головного мозга, отвечающая за моторную активность. Это может свидетельствовать о переходе мозга в более спокойное состояние, вследствие расслабления, или об отсутствии двигательной активности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] С. Гонсалес, Р. Вудс "Цифровая обработка изображений". - Москва. - 2012.
- [2] Э. Марк, Роберт Ф, "Магнитно-резонансная томография: физические принципы и дизайн последовательности". - Нью-Йорк. - 1999.
- [3] MNE-Python documentation: Filtering and preprocessing. [Ссылка.](https://mne.tools/stable/)
<https://mne.tools/stable/>
- [4] Oppenheim, A. V., Schafer, R. W., & Buck, J. R. (1999). *Discrete-Time Signal Processing*. Prentice Hall.