

Научная статья
УДК 621.38
DOI 10.18101/2306-2363-2024-3-34-40

ПРОТОТИП ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАФА НА ПЛАТФОРМЕ ESP32

© **Шаханов Егор Андреевич**

студент,
Бурятский государственный университет имени Доржи Банзарова
Россия, 670000, г. Улан-Удэ, ул. Смолина, 24а
shakhanov.ea@gmail.com

© **Машанов Алексей Алексеевич**

кандидат технических наук, доцент,
Бурятский государственный университет имени Доржи Банзарова
Россия, 670000, г. Улан-Удэ, ул. Смолина, 24а
Mashanov@bsu.ru.

Аннотация. В статье обсуждается система для регистрации электроэнцефалографических сигналов с использованием минимального набора аппаратных средств. Электроэнцефалография (ЭЭГ), обладающая высокой временной разрешающей способностью, фиксирует биоэлектрическую активность головного мозга, что позволяет получать информацию об активности нейронов. Устройство на базе микроконтроллера ESP32 и усилителя AD620 способно регистрировать и передавать ЭЭГ-сигналы на компьютер для последующего анализа. Прототип устройства был протестирован на группе добровольцев, измеряя активность мозга в различных состояниях. Результаты экспериментов подтвердили стабильность и точность измерений, что делает систему перспективной для исследований и экспериментов, требующих наблюдения за активностью мозга в реальном времени. Система обладает сравнительно небольшими размерами и интеграцией с беспроводными технологиями, что открывает возможности для ее использования в портативных медицинских устройствах.

Ключевые слова: прототип электроэнцефалографа, микроконтроллер ESP32, ЭЭГ-сигналы, усилитель AD620, регистрация сигналов, портативные медицинские устройства.

Для цитирования

Шаханов Е. А., Машанов А. А. Прототип электроэнцефалографа на платформе ESP32 // Вестник Бурятского государственного университета. Химия. Физика. 2024. Вып. 3. С. 34–40.

Введение

Актуальность работы связана с потребностью в разработке инструментов для объективной оценки состояния головного мозга. Одним из доступных методов является электроэнцефалография (ЭЭГ) — регистрация суммарной биоэлектрической активности мозга. ЭЭГ фиксирует колебания потенциалов с поверхности головы, отражая потенциалы действия нейронов. Метод обладает высокой временной разрешающей способностью — до миллисекунд [1; 2].

Цель работы состоит в том, чтобы проверить концепцию системы¹ с минимально необходимой аппаратной частью, способной регистрировать сигнал ЭЭГ

¹ URL: <https://labdata.ru/project/easyeeg-bci-project> (дата обращения: 17.10.2024).

для последующего использования. При этом не требуется получение сигнала клинического качества, ключевым является наличие информации об активности головного мозга.

ЭЭГ-сигнал представляет собой один из наиболее сложных биоэлектрических сигналов для регистрации у человека. Для его точного измерения необходимо учитывать различные факторы, которые могут повлиять на качество сигнала.

Для правильного выделения сигнала нужно обеспечить равновесие в дифференциальном усилителе. Создание такого сбалансированного дифференциального каскада требует сборки высокого качества и тщательного подбора компонентов.

Из-за возможных трудностей, связанных с этим процессом, наиболее целесообразно использовать готовый модуль инструментального усилителя AD620, который рекомендуется для использования в медицинской электронике¹ [3].

Схема подключения и принцип работы

Рассмотрим алгоритм работы устройства. Принципиальная схема подключения основных компонентов показана на рисунке 1.

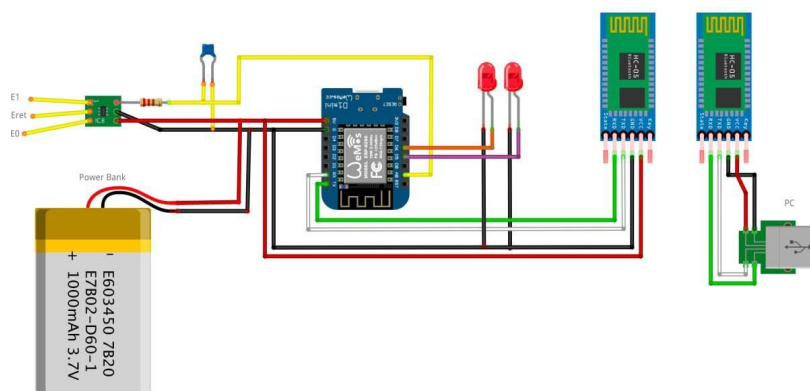


Рис. 1. Принципиальная схема устройства

Электроды (E_1 , E_0 , E_{rest}) регистрируют электрическую активность мозга и передают сигнал на усилитель AD620, который увеличивает его амплитуду. Затем усиленный сигнал проходит через фильтр, удаляющий шумы, и поступает на аналоговый вход микроконтроллера ESP32.

ESP32 считывает и обрабатывает полученный аналоговый сигнал, после чего передает данные через модуль Bluetooth HC-06 на компьютер или мобильное устройство для последующего анализа и отображения.

На компьютере или мобильном устройстве данные визуализируются с помощью программного обеспечения (рис. 2)², что позволяет в реальном времени наблюдать за активностью мозга.

Эта схема обеспечивает надежный сбор, обработку и передачу ЭЭГ-сигналов с использованием ESP32 и модулей AD620 и HC-06. Принцип ее работы прост и

¹ URL: <https://labdata.ru/project/easyeeg-bci-project> (дата обращения: 17.10.2024).

² Там же.

понятен, что делает устройство удобным для использования в исследованиях и экспериментальных задачах.

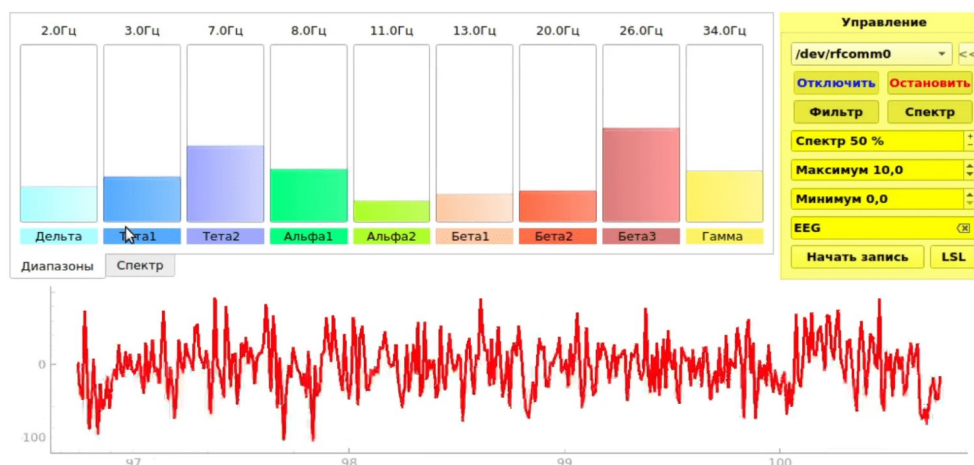


Рис. 2. Интерфейс программного обеспечения

Результаты тестирования

В рамках этого исследования группа добровольцев согласилась участвовать в испытаниях прототипа электроэнцефалографа, собранного на базе ESP32. Каждый участник прошёл серию экспериментальных сессий, направленных на измерение мозговой активности в разных состояниях: при полном расслаблении, во время использования смартфона и при прослушивании музыки. Собранные данные предоставили возможность детально проанализировать эффективность и надёжность функционирования устройства.

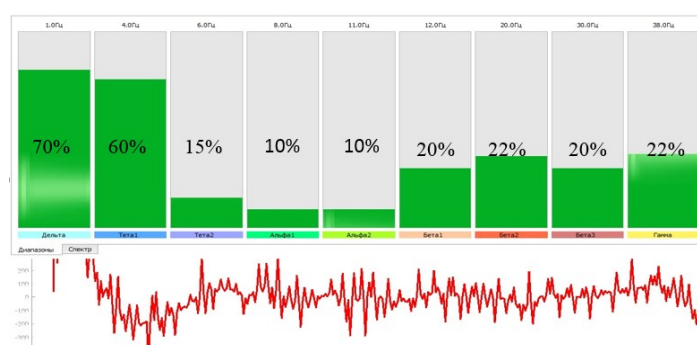


Рис. 3. Человек находится в состоянии покоя.

Главной целью испытаний было оценить стабильность и точность получаемых измерений, а также сравнить результаты между различными испытуемыми. Это позволило выявить возможные отклонения и подтвердить работоспособность прибора для дальнейшего применения в исследованиях и экспериментах.

Остановимся более подробно на рассмотрении результатов тестирования головной активности в состоянии покоя, использовании смартфона и прослушивании музыки, одного из испытуемых.

Таблица 1
Результаты ЭЭГ. Человек находится в состоянии покоя, %

Диапазон	Регистрируемое значение	Эталон	Описание
Дельта	70	20–100	Глубокое расслабление
Тета 1	60	30–100	Медитативное состояние
Тета 2	15	20–100	Процесс запоминания
Альфа 1	10	20–60	Снижение когнитивных процессов
Альфа 2	10	25–60	Улучшение когнитивных процессов
Бета 1	20	25–50	Бдительность, решение задач
Бета 2	22	35–50	Фокусировка внимания
Бета 3	20	30–60	Беспокойство
Гамма	22	25–60	Пиковая продуктивность

Как показано на электроэнцефалограмме (рис. 3), у человека в состоянии покоя отмечается повышенная активность в дельта и тета1 диапазонах, что свидетельствует о глубоком расслаблении и медитативном состоянии. Низкие значения в альфа и бета диапазонах указывают на отсутствие активного мышления и концентрации. Анализ результатов удовлетворительно согласуется с эталонными значениями диапазонов активности головного мозга соответствующим состоянию покоя испытуемого.

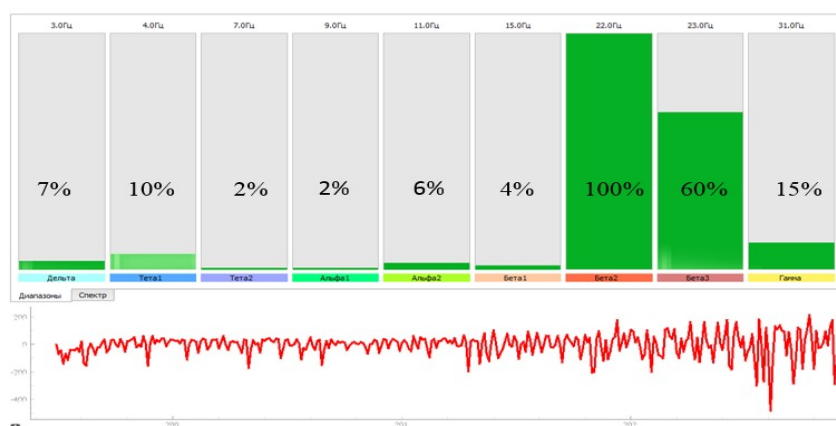


Рис. 4. Человек использует смартфон

На основе анализа ЭЭГ (рис. 4) можно наблюдать, что человек, который использует активно смартфон, т. е. просматривает видеоконтент, демонстрирует повышенную активность в бета2 и бета3 диапазонах, что указывает на высокую умственную активность и возможный стресс. Одновременно отмечается снижение активности альфа-ритмов, что характерно для смены состояния покоя на активное бодрствование.

Таблица 2

Результаты ЭЭГ. Человек использует смартфон, %

Диапазон	Регистрируемое значение	Эталон	Описание
Дельта	7	20–100	Глубокое расслабление
Тета1	10	30–100	Медитативное состояние
Тета2	2	20–100	Процесс запоминания
Альфа1	2	20–60	Снижение когнитивных процессов
Альфа2	6	25–60	Улучшение когнитивных процессов
Бета1	4	25–50	Бдительность, решение задач
Бета2	100	35–50	Фокусировка внимания
Бета3	60	30–60	Беспокойство
Гамма	15	25–60	Пиковая продуктивность

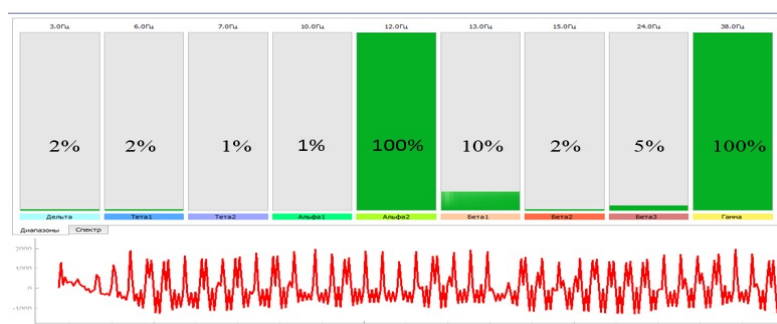


Рис. 5. Человек слушает расслабляющую музыку.

Таблица 3

Результаты ЭЭГ. Человек слушает расслабляющую музыку

Диапазон	Регистрируемое значение	Эталон	Описание
Дельта	2	20–100	Глубокое расслабление
Тета1	2	30–100	Медитативное состояние
Тета2	1	20–100	Процесс запоминания
Альфа1	1	20–60	Снижение когнитивных процессов
Альфа2	100	25–60	Улучшение когнитивных процессов
Бета1	10	25–50	Бдительность, решение задач
Бета2	2	35–50	Фокусировка внимания
Бета3	5	30–60	Беспокойство
Гамма	100	25–60	Пиковая продуктивность

Повышенная активность в альфа2 диапазоне указывает на улучшение когнитивных процессов. Это состояние связано с умственной активностью и расслаблением, что способствует эффективному решению задач и повышенной концентрации. Пиковая активность в гамма-диапазоне свидетельствует о состоянии высокой продуктивности.

В ходе исследований с участием трех добровольцев были получены данные о мозговой активности в различных диапазонах (дельта, тета1, тета2, альфа1, альфа2, бета1, бета2, бета3, гамма) при выполнении трех задач: в состоянии покоя, при использовании смартфона и при прослушивании музыки. Все три испытуемых показали похожие результаты. Например, в дельта-диапазоне высокие зна-

чения наблюдались в состоянии покоя и низкие при использовании смартфона и прослушивании музыки (табл. 4). Небольшие различия в процентных значениях активности могут быть связаны с индивидуальными особенностями каждого испытуемого. Например, испытуемый 2 показал более высокие значения в дельта и тета1 диапазонах в состоянии покоя по сравнению с другими. Прототип электроэнцефалографа на базе ESP32 корректно регистрирует и анализирует мозговую активность. Все три испытуемых показали ожидаемые результаты для каждого состояния и диапазона. Для дальнейшего развития устройства рекомендуется провести больше тестов с большим числом испытуемых, работать над улучшением качества сигнала и фильтрации для минимизации шумов, а также добавить новые функции в программное обеспечение для более детального анализа данных. Таким образом, прототип электроэнцефалографа на базе ESP32 успешно прошел тестирование и показал свою работоспособность, что подтверждает его пригодность для дальнейшего использования.

Таблица 4

Сравнение результатов тестирования, %

Диапазон	Вид активности	Испытуемый 1	Испытуемый 2	Испытуемый 3	Эталон
Дельта	Покой	70	90	55	20–100
	Смартфон	7	10	1	
	Музыка	2	2	1	
Тета1	Покой	60	100	95	30–100
	Смартфон	10	20	1	
	Музыка	2	5	5	
Тета2	Покой	15	15	15	20–100
	Смартфон	2	8	1	
	Музыка	1	60	2	
Альфа1	Покой	10	7	5	20–60
	Смартфон	2	2	5	
	Музыка	1	1	1	
Альфа2	Покой	10	45	20	25–60
	Смартфон	6	2	1	
	Музыка	100	1	2	
Бета1	Покой	20	8	20	25–50
	Смартфон	4	1	1	
	Музыка	10	10	50	
Бета2	Покой	22	40	25	35–50
	Смартфон	100	15	90	
	Музыка	2	50	70	
Бета3	Покой	20	20	20	30–60
	Смартфон	60	100	100	
	Музыка	5	20	5	
Гамма	Покой	22	20	20	25–60
	Смартфон	15	15	30	
	Музыка	100	5	15	

Заключение

Тестируемый прототип электроэнцефалографа на базе микроконтроллера ESP32 показал свою работоспособность и пригодность для дальнейшего использования. Экспериментальные данные показали, что устройство корректно регистрирует мозговую активность в различных состояниях, таких как полный покой,

использование смартфона и прослушивание музыки. Анализ полученных данных позволил подтвердить стабильность и точность измерений, а также выявить возможные индивидуальные особенности участников.

Литература

1. Андреев А. С. Обзор методов математической обработки электроэнцефалограмм // Известия ТРТУ. 2000. Т. 4, № 18 С. 111–112. Текст: непосредственный.
2. Гуляев С. А. Электроэнцефалография и исследования функциональной активности головного мозга // Русский журнал детской неврологии. 2020. Т. 16, № 4. С. 59–68. Текст: электронный.
3. Основы электротехники и электроники / В. Т. Еременко, А. А. Рабочий, А. П. Фисун [и др.]. Орел: Госуниверситет — УНПК, 2012. 530 с. Текст: непосредственный.

Статья поступила в редакцию 30.09.2024; одобрена после рецензирования 23.10.2024; принята к публикации 28.10.2024.

ELECTROENCEPHALOGRAPH PROTOTYPE ON THE ESP32 PLATFORM

Egor A. Shakhanov

Student

shakhanov.ea@gmail.com

Aleksey A. Mashanov

Cand. Sci. (Engineering), A/Prof.

mashanov@bsu.ru

Dorzhii Banzarov Buryat State University
24a Smolina St., Ulan-Ude 670000, Russia

Abstract. The article discusses a system for recording electroencephalographic (EEG) signals using a minimal set of hardware. Electroencephalography with a high temporal resolution records the bioelectric activity of the brain, which allows obtaining information about the activity of neurons. The device, based on the ESP32 microcontroller and the AD620 amplifier, is capable of recording and transmitting EEG signals to a computer for subsequent analysis. We tested the prototype of the device on a group of volunteers, the measurement of brain activity was carried out in various states. The experimental results confirmed the stability and accuracy of the measurements, which makes the system promising for examinations that require monitoring brain activity in real time. The system has a relatively small size and is integrated with wireless technologies, which opens up opportunities for its use in portable medical devices.

Keywords: electroencephalograph prototype, ESP32 microcontroller, EEG signals, AD620 amplifier, signal recording, portable medical devices.

For citation

Shakhanov E. A., Mashanov A. A. Electroencephalograph Prototype on the ESP32 Platform. *Bulletin of Buryat State University. Chemistry. Physics.* 2024; 3: 34–40 (In Russ.).

The article was submitted 30.09.2024; approved after reviewing 23.10.2024; accepted for publication 28.10.2024.