

Автоматизированное устройство регистрации и стимуляции вызванных потенциалов головного мозга

О.И. Антипов¹, А.В. Захаров², В.А. Мачихин¹, В.Ф. Пятин²

¹ Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики
443010, Российская Федерация, г. Самара
ул. Л. Толстого, 23

² Самарский государственный медицинский университет
443099, Российская Федерация, г. Самара
ул. Чапаевская, 89

В статье описывается работа предлагаемого устройства фиксирования момента реакции мозга на электроэнцефалограмме, которое позволит выделять вызванные потенциалы, появляющиеся в коре головного мозга при сложных мультимодальных стимуляциях с целью использования результатов при создании нейрокомпьютерного интерфейса (НКИ). Устройство позволяет использовать любой регистратор электроэнцефалограмм для целей выделения вызванных потенциалов, применяемых в НКИ. Приводится описание самого устройства и принципов его работы. Показаны некоторые результаты применения устройства, которые проводятся в рамках программы разработки НКИ.

Ключевые слова: электроэнцефалография, нейрокомпьютерные интерфейсы, вызванные потенциалы, мультимодальная стимуляция, устройства регистрации.

Введение

Более 50 лет назад, с развитием электроэнцефалографии и исследований человеческого тела, было открыто, что человек способен управлять характеристиками биотоков собственного мозга, такими как частота, амплитуда и т. д., что можно отразить на электроэнцефалограмме (ЭЭГ) [1–5]. Первоначально, ЭЭГ применялась в диагностических целях, и успешно применяется до сих пор [6–10]. Диагностирование различных неврологических расстройств базируется на электроэнцефалографических исследованиях [11–16]. Благодаря применению методов нелинейной динамики к анализу временных рядов [17–23], наподобие ЭЭГ, позволило перевести диагностирование на качественно новый уровень [24–26].

Произвольные изменения биотоков мозга были классифицированы и, с течением времени, ученые предположили, что их можно использовать для взаимодействия между мозгом и управляемыми устройствами во внешней среде. Можно сказать, что мысль может напрямую руководить курсором компьютера, сформировать текст, управлять приводами и т. д. минуя остальные человеческие органы. Одним из направлений развития данных технологий в настоящее время является исследование вызванных

потенциалов с использованием электроэнцефалографии [1–3]. Вызванный потенциал – электрическая реакция мозга на внешний раздражитель или на выполнение умственной когнитивной задачи [4; 5]. В современной практике вызванный потенциал широко используется для разработок систем связи мозга с компьютером. Идея заключается в том, что с помощью специальной системы – нейрокомпьютерного интерфейса (НКИ), регистрирующей активность нервных клеток моторной, т. е. отвечающей за движения человека, части коры головного мозга и дешифрующей намерение человека совершить то или иное движение, мозг напрямую соединяется с внешними исполнительными устройствами. Это позволит здоровому человеку расширить сферу своих манипуляций, а инвалиду – получить функциональное замещение отсутствующих конечностей. При этом регистрирующие электроды могут либо вживляться в мозг, что требует сложной нейрохирургической операции, либо просто закрепляться на голове, как это делается при снятии электроэнцефалограммы. Основными когнитивными потенциалами головного мозга, использующимися в нейрокомпьютерных интерфейсах, являются волна P300, N100 и т. д. Наиболее современные методы исследования, ориентированные на нейрокомпьютерные



Рис. 1. Общий вид устройства

интерфейсы приведены в книге Кулаичева [3]. Идея проста, однако ее реализация на практике встречается с рядом технических трудностей [12–13].

В классическом варианте вызванный потенциал выделяется следующим образом: подается предупреждающий сигнал – щелчок или световая вспышка, затем через неопределенное, случайное время, лежащее в интервале 1–3 с, следует другой стимул, пусковой – вспышка света или звуковой стимул, который испытуемый прерывает нажатием кнопки или каким-либо другим действием. На щелчок возникает ответ, но в ситуации предупреждающего и неопределенного пускового сигнала при его физическом прерывании между этими двумя событиями возникает дополнительная медленная негативная волна амплитудой примерно 20 мкВ [3].

Для проведения данных опытов по обнаружению когнитивной реакции головного мозга необходима автоматизация процесса подачи звуковых, световых и пр. стимулов испытуемому. Требуется устройство, подключаемое к электроэнцефалографическому регистратору во время проведения опыта, которое должно объединять функции подачи значимого для испытуемого сигнала в зависимости от условий эксперимента и одновременной установки метки, указывающей момент подачи сигнала, на электроэнцефалограмму (ЭЭГ). В момент, связанный с конкретным событием, например, нажатием испытуемым кнопки, на электроэнцефалограмме должна ставиться соответствующая метка. Естественно, данное устройство, должно быть адаптировано для любого существующего электроэнцефало-



Рис. 2. Один из возможных видов метки на электроэнцефалограмме, которые ставятся на неиспользованном канале

графа и вышеуказанных исследовательских задач. Оно также должно быть автоматизировано и эргономично. В данной работе описано разработанное нами автоматизированное устройство регистрации и создания вызванных потенциалов головного мозга, предназначенное для проведения вышеперечисленных экспериментальных исследований.

Для проведения вышеуказанных экспериментов нами было разработано устройство, общий вид которого представлен на рис. 1.

Как видно из рис. 1 на передней панели имеются кнопки и переключатели управления работой и питанием устройства, а также миниатюрный экран для отображения текстовой информации.

1. Описание разработанного устройства

При проведении эксперимента, снимается ЭЭГ головного мозга испытуемого. Устройство непосредственно подключается к ЭЭГ-регистратору через дополнительные каналы, незадействованные при съеме ЭЭГ, куда будут ставиться соответствующие метки. При шлейфовом подключении устройства к ЭЭГ-регистратору таких каналов может быть больше.

Воздействия на испытуемого совершаются путем подачи внешних стимулов с помощью подключенных к устройству внешних стимуляторов. При необходимости, обратная реакция испытуемого фиксируется с помощью геймпада, подключаемого к устройству. Для стимулирования вызванных потенциалов и их регистрации устройство подает одновременно сигналы как на внешние устройства стимуляции, так и на ЭЭГ-регистратор, который подключен к ЭВМ. В зависимости от рода экспериментов, различные по своей природе стимулы (звук, свет, знаки) имеют свою отдельную метку на заранее определенном дополнительном канале ЭЭГ регистратора. Примерный вид метки, регистрируемой на электроэнцефалограмме представлен на рис. 2. Таким образом, при дальнейшем анализе ЭЭГ, исследователь получает точное время поданного внешнего стимула, что позволяет получить усредненный отклик на серию импульсов [3; 4].

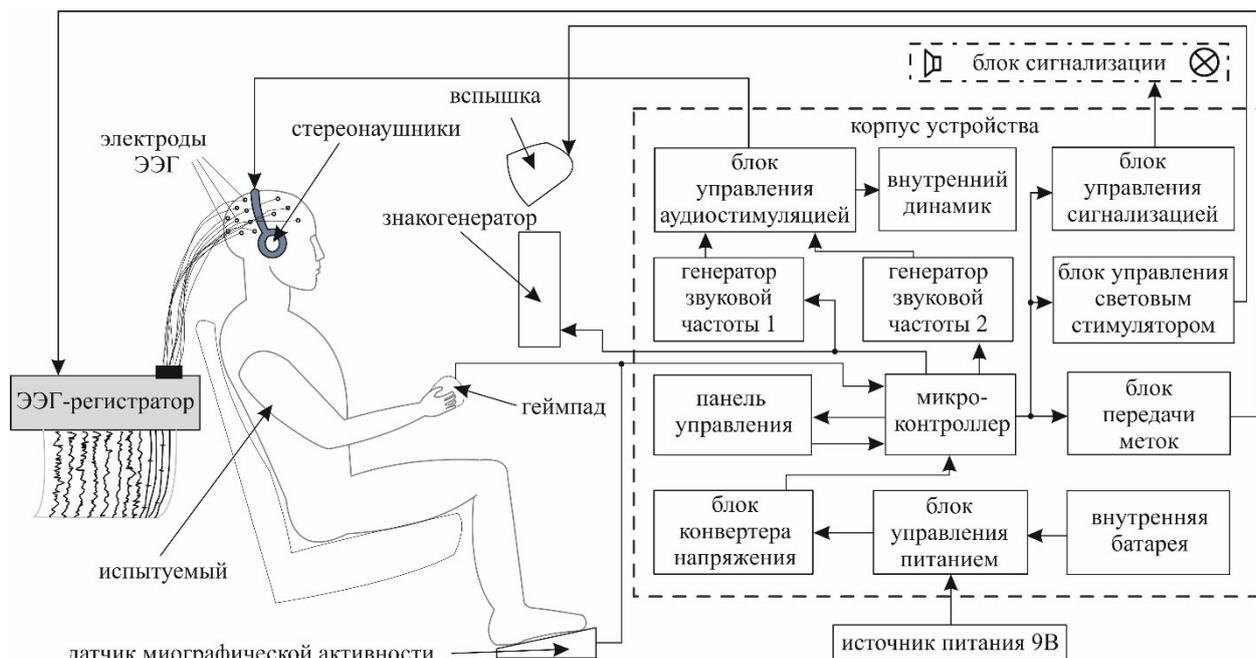


Рис. 3. Структурная схема устройства стимуляции

В качестве модуля управления системой используется программируемый микроконтроллер, позволяющий автоматизировать процесс стимуляции. Для полноценной интерактивности между оператором и микроконтроллером выбран текстовый дисплей, отображающий достаточную информацию для восприятия оператором. В качестве такого дисплея в данном устройстве наиболее оптимально подошел графически-алфавитный жидкокристаллический индикатор. На рис. 3 показана структурная схема устройства, показывающая принцип подключения ЭЭГ-регистратора к испытуемому в процессе эксперимента.

Программируемый микроконтроллер содержит в памяти различные заданные программы стимуляции, в рамках которых реализованы разные алгоритмы воздействия на испытуемого внешних стимулов. За счет микроконтроллера возможна автоматизация процесса стимуляции в ходе эксперимента, а также создание уникальных комбинированных программ стимуляции, с разной последовательностью, стимулы различной длительности и т. д. Это препятствует утомляемости испытуемого, позволяет создавать индивидуальные программы стимуляции для разных исследований. Устройство имеет широкий выбор программ стимуляции, но если необходимо внести изменения в программы, то можно перепрограммировать микроконтроллер с помощью стандартного программатора.

2. Примеры проведения экспериментов с использованием устройства

В ходе проведения одного из экспериментов, испытуемый помещался в экранированную, затемненную комнату. На него одевали стереонаушники, шапочку с электродами электроэнцефалографа, который подключали к устройству регистрации и создания вызванных потенциалов. Перед взором пациента располагали знакогенератор и световой стимулятор. Исследователь заранее выбирал одну из заложенных программ, далее выходил из комнаты и начинался эксперимент. При этом устройство давало задержку перед началом эксперимента, чтобы исследователь успел покинуть помещение до начала программы стимуляции. Это позволило повысить чистоту эксперимента [27]. Устройство производило подачу как значимых, так и незначимых звуковых стимулов при их совместной поочередной хаотической подаче испытуемому в виде коротких звуковых сигналов с частотами 1000 Гц и 2000 Гц согласно одной из программ стимуляции [3; 4]. В ходе эксперимента получена запись электроэнцефалограммы представленная на рис. 4, которая обработана с помощью запатентованной программы [28].

В следующем эксперименте, устройство позволило произвести автоматизированную стимуляцию испытуемого хаотичным чередованием, состоящим из 60 сигналов. При этом программно были соблюдены следующие обяза-

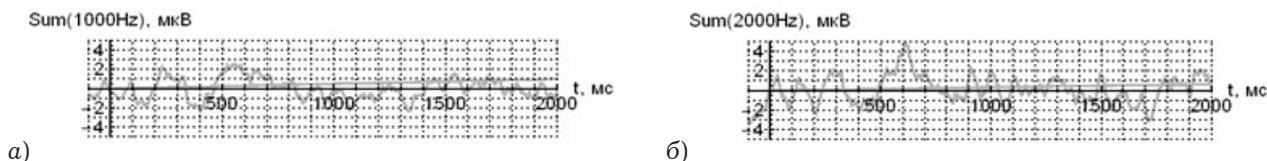


Рис. 4. Электроэнцефалограмма, полученная при первом эксперименте, показывающая суммарный стимул для 128 каналов электроэнцефалографа: а) для сигнала с частотой 1000 Гц; б) для сигнала с частотой 2000 Гц

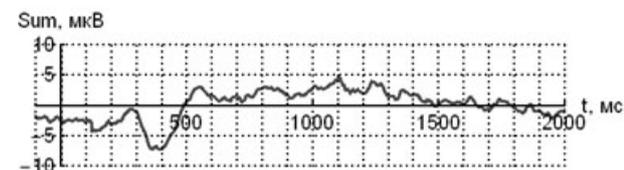


Рис. 5. Ответная реакция мозга на значимый стимул, полученная при втором эксперименте

тельные условия [3; 4]: 1 – время между стимулами колеблется от 7 до 15 с; 2 – соотношения незначимые/значимые стимулы 1/3, т. е. 25 % от общего числа звуковых стимулов. Также, в другом эксперименте, подача каждого из звуковых стимулов претворялась предупреждающим световым стимулом, за случайное время 1–3 с перед звуковым стимулом. Это позволяет повысить внимание испытуемого и, как следствие, снизить уровень электроэнцефалографических помех, связанных с нецелевой когнитивной деятельностью. Ответные реакции испытуемых были фиксировались на электроэнцефалограмме посредством геймпада [12–13]. Благодаря одновременной подаче устройством внешних сигналов и проставлению соответствующих меток на ЭЭГ в дальнейшем удалось проанализировать характер вызванных потенциалов у испытуемых [1–5]. Полученная электроэнцефалограмма обработана с помощью запатентованной программы [28], представлена на рис. 5.

Заключение

В работе предложено устройство, которое может быть использовано в серии экспериментальных работ исследовательской лаборатории для решения задач получения и анализа коротколатентных и длиннолатентных, значимых, незначимых, рефлекторных, когнитивных вызванных потенциалов, в целях создания НКИ. Проведена серия экспериментов, в которых с помощью устройства была определена реакция головного мозга на внешнюю стимуляцию. Выделена разница между ответными реакциями мозга на значимые и незначимые стимулы, что может быть использовано для создания НКИ.

Список литературы

1. Гнездицкий В.В. Обратная задача ЭЭГ и клиническая энцефалография (картирование и локализация источников электрической активности мозга). М.: МЕДпресс-информ, 2004. 624 с.
2. Зенков Л.Р. Клиническая электроэнцефалография (с элементами эпилептологии). Руководство для врачей. 6-е изд. М.: МЕДпресс-информ, 2013. 356 с.
3. Кулаичев А.П. Компьютерная электрофизиология в клинической и исследовательской практике. CONANm-3.0 для Windows. М.: Информатика и компьютеры, 1998. 284 с.
4. Наатанен Р. Внимание и функции мозга. М.: Изд-во Московского Университета, 1998. 560 с.
5. Кропотов Ю.Д. Количественная ЭЭГ, когнитивные вызванные потенциалы мозга человека и нейротерапия. Донецк: Издательский Дом Заславский, 2010. 512 с.
6. Информационные возможности использования мю- и бета-ритмов ЭЭГ доминантного полушария в конструировании нейрокомпьютерного интерфейса / В.Ф. Пятин [и др.] // Фундаментальные исследования. 2015. № 2–5. С. 975–978.
7. Мультиязычный стимулятор для адаптации ЭЭГ регистраторов к задачам получения вызванных потенциалов, применяемых в нейроинтерфейсах / О.И. Антипов [и др.] // Успехи современной радиоэлектроники. 2015. № 11. С. 78–82.
8. Модуляция сенсомоторных ритмов электроэнцефалограммы / М.С. Сергеева [и др.] // Биомедицинская радиоэлектроника. 2016. № 5. С. 28–30.
9. Сравнение возможностей фрактальных методов обработки ЭЭГ для обнаружения изменения в активности головного мозга человека при разной внешней освещенности / О.И. Антипов [и др.] // Инфокоммуникационные технологии. 2014. № 2 (12). С. 57–63.
10. Исследование частотных диапазонов для пейсмейкеров иррадиационных явлений при световых воздействиях на сетчатку глаза человека путем анализа результатов применения фрактальных мер к ЭЭГ-сигналам / О.И. Антипов [и др.] // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2014. Т. 17. № 3. С. 90–95.
11. Качество ночного сна у пациентов с рассеянным склерозом / А.В. Захаров [и др.] // Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова. 2016. Т. 116. № 2–2. С. 41–43.
12. Антипов О.И., Мачихин В.А. Устройство фиксирования момента мышечной активности на электроэнцефалограм-

- ме при анализе когнитивных вызванных потенциалов // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2016. Т. 19. № 2. С. 43–47.
13. Мультисигнальный стимулятор для адаптации ЭЭГ регистраторов к задачам получения вызванных потенциалов, применяемых в нейроинтерфейсах / О.И. Антипов [и др.] // Успехи современной радиоэлектроники. 2015. № 11. С. 78–82.
 14. Особенности постуральных нарушений у больных рассеянным склерозом / А.В. Захаров [и др.] // Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова. 2014. Т. 114. № 2–2. С. 55–58.
 15. Нейрофизиологические маркеры, обуславливающие тяжесть инсомнических расстройств / Е.В. Хивинцева [и др.] // Биомедицинская радиоэлектроника. 2016. № 5. С. 54–57.
 16. Захаров А.В., Антипов О.И., Хивинцева Е.В. Полисомнографические характеристики сна у пациентов с фибромиалгией // Российский журнал боли. 2014. № 1 (42). С. 58–59.
 17. Антипов О.И., Неганов В.А., Панфёрова Т.А. Нелинейная динамика и хаотические явления в нематическом жидком кристалле // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2006. Т. 9. № 4. С. 76–87.
 18. Волобуев А.Н., Антипова Т.А. Некоторые генетические особенности миграции популяций // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2016. Т. 19. № 1. С. 68–73.
 19. Антипов О.И., Неганов В.А. Детерминированный хаос в импульсном стабилизаторе напряжения повышающего типа // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2004. Т. 7. № 3. С. 53–61.
 20. Волобуев А.Н., Антипова Т.А. Нелинейная генетика. Инбридинг и генетический груз // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2013. Т. 16. № 4. С. 70–74.
 21. Антипов О.И., Неганов В.А. Исследование динамического хаоса в импульсном стабилизаторе напряжения инвертирующего типа с учетом влияния активных потерь с помощью мер фрактального исчисления // Нелинейный мир. 2008. Т. 6. № 7. С. 364–377.
 22. Волобуев А.Н., Антипова Т.А. Анализ аннигиляции позитрона и электрона и дополнительные возможности позитронно-эмиссионной томографии // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2014. Т. 17. № 4. С. 75–80.
 23. Антипов О.И., Неганов В.А. Влияние учета активных потерь на детерминированный хаос в импульсном стабилизаторе напряжения инвертирующего типа // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2007. Т. 10. № 4. С. 48–55.
 24. Антипов О.И., Захаров В.А., Неганов В.А. Особенности применения фрактальных мер детерминированного хаоса к автоматизированному распознаванию стадий сна при полисомнографии // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2012. Т. 15. № 3. С. 101–109.
 25. Антипов О.И., Захаров А.В., Неганов В.А. Сравнение скорости и точности фрактальных методов детерминированного хаоса применительно к распознаванию стадий сна // Бюллетень Восточно-Сибирского научного центра СО РАН. 2013. № 2–1. С. 9–14.
 26. Возможности различных методов автоматического распознавания стадий сна / О.И. Антипов [и др.] // Саратовский научно-медицинский журнал. 2012. Т. 8. № 2. С. 374–379.
 27. Динамика сенсомоторной активности коры головного мозга при интенции движения / Е.В. Хивинцева [и др.] // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. 2016. № 6. С. 40–43.
 28. Пат. 2014661280 Российская Федерация. Программа для автоматического выделения электроэнцефалографического паттерна при мультимодальной стимуляции / Антипов О.И., Захаров А.В., Пятин В.Ф., Мачихин В.А.; заявители и патентообладатели Антипов О.И., Захаров А.В. 2014661280 от 28.10.2014, заявл. 23.07.2014; опубл. 20.11.2014.

Automatic device of registration and stimulation caused by brain potential

O.I. Antipov, A.V. Zacharov, V.A. Machihin, V.F. Pyatin

The article describes the operation of the device fixing of moment the date of brain activity on the electroencephalogram, which will allow to allocate evoked potentials appearing in the cerebral cortex in complex multimodal stimulations in order to use the results to create brain-computer interface BCI. The device allows you to use any of the electroencephalography registrar for the purposes of allocation of evoked potentials used in BCI. The description of the device and how it works. Showing some of the results using the device, which are held within the framework of the development of BCI.

Keywords: electroencephalography, brain-computer interface, evoked potentials, multimodal stimulation, registration devices.