

УДК 004.421.4:577.1

АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС С БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ ПО МНОГОКАНАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАММЕ



А.П. Клюев

Ассистент кафедры
инженерной психологии
и эргономики БГУИР



А.Н. Осипов

Проректор по науч-
ной работе БГУИР,
кандидат техниче-
ских наук, доцент



О.П. Высоцкий

Ассистент кафедры
электронной техники
и технологии БГУИР



Н.Н. Мисюк

Врач функциональной
диагностики, "РНПЦ
психического здоро-
вья", кандидат меди-
цинских наук

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Республика Беларусь
ГУ «Республиканский научно-практический центр психического здоровья»
E-mail: kluev@bsuir.by, osipov@bsuir.by, olegbom@gmail.com, misuik@mail.ru

Аннотация. Выполнены исследования в области создания компьютерных алгоритмов вероятностно-статистической обработки сигналов многоканальных электроэнцефалограмм, разработаны алгоритмы обработки электроэнцефалографических сигналов во временной, частотной и частотно-временной для формирования сигнала биологической обратной связи.

Ключевые слова: биологическая обратная связь, электроэнцефалограмма, эпилепсия, алгоритм обработки.

Использование информационных технологий для обработки данных, поступающих от датчиков аппаратного инструментария электрофизиологического контроля состояния систем человека, является основой современных медицинских систем. Ряд процессов жизнедеятельности организма человека сопровождаются изменением электрической составляющей мембранного потенциала клеток тканей органов. Эти изменения фиксируются на поверхности кожного покрова в виде электрических сигналов. Соответствующие методики регистрации и алгоритмы анализа последних являются основой неинвазивных средств функциональной диагностики: метода электрокардиографии, метода электромиографии, метода электроокулографии и т.д. Для исследования и оценки функционального состояния головного мозга широкое применение получил метод электроэнцефалографии.

Метод биологической обратной связи (БОС) возник в конце 50-х годов прошлого века [5]. Биологическая обратная связь— технология основанная на комплексе процедур, в ходе которых человеку посредством внешней цепи обратной связи, организованной посредством компьютеризированной техники, предоставляется информация об изменении тех или иных его собственных физиологических процессах. Будучи формой прикладной психофизиологии, БОС-исследования организационно оформлены в виде Международного Общества Обратной связи и Прикладной Психофизиологии. По данной тематике выпускается 2 специализированных научных журнала, в США создан национальный Институт БОС-сертификации и лицензирования. О растущем доверии к БОС-технологиям говорит тот факт, что в настоящее время в США около 80% расходов на проведение БОС-терапии берут на себя страховые компании [4].

Зарождению метода способствовал ряд научных открытий – а) работы N.Miller по выработке у животных висцеральных условных рефлексов (УР) оперантного типа; б) данные M.B. Sterman [6] о повышении порогов судорожной готовности после условнорефлекторного усиления сенсомоторного ритма в центральной извилине коры головного мозга как животных, так и человека; в) открытие J. Kamiya [7] способности испытуемых произвольно изменять параметры ритмов своей ЭЭГ при наличии обратной связи об их текущих значениях. 70-е годы в истории развития БОС-технологий отмечены были небывалым общественным интересом к так называемому альфа-обучению и альфа-состояниям, обусловленным усиленным альфа-ритмом в ЭЭГ человека. Основными методами БОС-терапии по ЭЭГ в настоящее время являются альфа-тренинг, бета-тренинг, тета-тренинг и SMR-терапия.

Конструктивно комплекс БОС представляют собой сложную техническую систему для регистрации параметров жизнедеятельности организма, их обработки и последующей возврату пациенту информации об регистрируемых параметрах в удобной для восприятия пациентом форме.

Несмотря на ряд существенных успехов, БОС-терапия далеко не всегда эффективна даже в тех случаях, когда удаётся выполнить задание лечебного протокола. Это обусловлено тем, что в качестве конечной цели БОС используются параметры, являющиеся недостаточными для нормализации нарушенной функции. Общепринятым является тренинг, направленный на повышение мощности альфа-ритма при его дефиците. Однако этого недостаточно. Было показано, что у больных с диффузными органическими изменениями в головном мозге (энцефалопатии различного генеза, арахноэнцефалиты, дегенеративные процессы) даже при хорошо выраженном, организованном, зонально дифференцированном альфа-ритме страдает прежде всего его Когерентность, что крайне нехарактерно для здоровых людей (Докукина, Мисюк) [2]. Поэтому, недостаточно стремиться к увеличению мощности альфа-ритма. Для полноценного терапевтического эффекта необходимо обеспечить нормализацию его когерентных характеристик.

Как было показано [3], цветовые карты распределения средних значений коэффициентов когерентности для ЭЭГ с наличием функционального расстройства головного мозга и при его отсутствии имеют явные визуально заметные отличия. Данные отличия достаточно специфичны. Таким образом изменение визуального характера цветовых карт распределения значений средней Когерентности могут быть использованы как предъявляемый сигнал обратной связи, изменяющийся в соответствии с рассчитываемыми значением средней когерентности $K_{ср}$ для ЭЭГ и отражающий текущее состояние головного мозга пациента в реальном масштабе.

На основании вышеизложенного был разработан макет аппаратно программный комплекс БОС для коррекции сопровождающих эпилепсию функциональных состояний центральной нервной системы человека.

Структурная схема макета аппаратно-программного комплекса для коррекции функциональных состояний центральной нервной системы человека приведена на рисунке 9. Аппаратная часть основана на базе электроэнцефалографа «Мицар». Программная реализация комплекса выполнена на основе специальных процедур, функций GUI пакета математической обработки данных МАТЛАБ и библиотеке процедур работы с электроэнцефалографом.

Модули 2, 3, 4 образуют блок усилителей ЭЭГ. Регистрируемые по 16 электроэнцефалографическим отведениям сигналы электрической активности головного мозга поступают на входы многоканального усилителя биопотенциалов 2. Аналого-цифровым преобразователем 3 осуществляется дискретизация сигналов и преобразование их в цифровой код, который посредством интерфейсных модуля 4 блока усилителей интерфейсного модуля 5 персонального компьютера передаётся программному обеспечению 6 комплекса для специальной обработки. Передача осуществляется процедурами динамической библиотеки DLL по прерыванию про-

цессора. Прерывания формируются программно с интервалом задаваемым пользователем. После генерации прерывания, данные зарегистрированные за интервал времени передаются программному обеспечению 6 комплекса для вычислений. Результаты вычислений преобразуются в графическую информацию (цветовые карты, графики, анимация) отображаются на мониторе 7 и предъявляются 8 пользователю-пациенту. Частота генерации прерываний и, соответственно, предъявлений информации пациенту определяется исходя из требуемых значений и времени затрачиваемого на передачу данных от блока усилителей, специальную обработку и отображения результатов обработки на экране монитора компьютера. Вышеуказанные операции будут определять время, затрачиваемое на обновление предъявляемой информации пациенту (рисунок 2). Промежуток времени, обозначенный как Callback function, – это время необходимое для работы вычислительного модуля 6 комплекса.

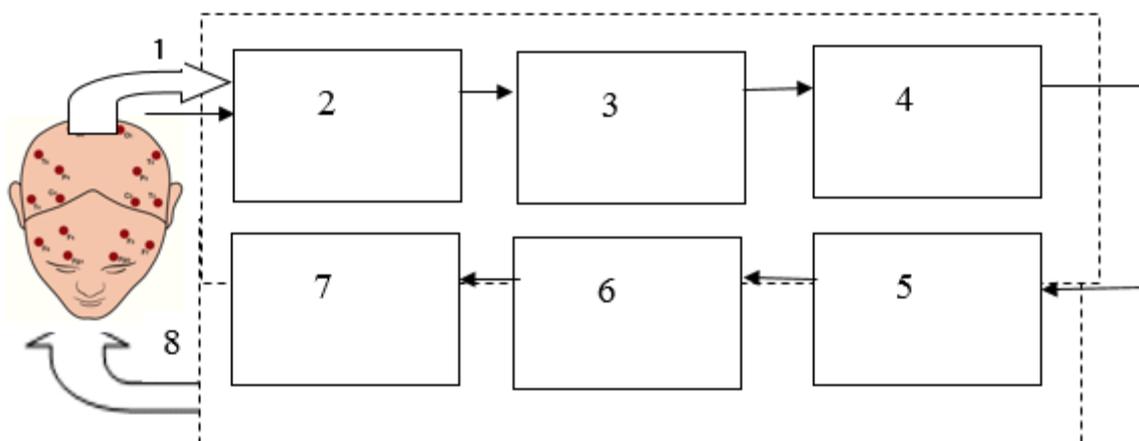


Рисунок 1. Схема структурная комплекса БОС

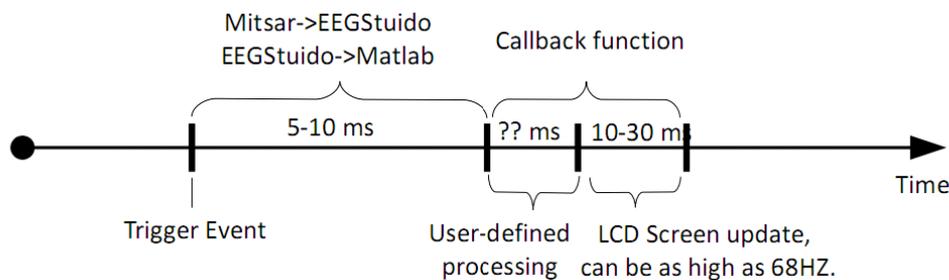


Рисунок 2. Временные задержки обработки данных комплекса БОС

Вычислительная часть комплекса состоит из отдельных программных подмодулей. Подмодуль производит определённые вычисления для обработки сигналов отведений в зависимости от того какой протокол БОС реализуется в текущей процедуре коррекции. Этим же определяется вид возвращаемых сигналов. Каждый подмодуль может быть отдельно выбран.

Ниже приведены варианты интерфейсов программного комплекса для различных режимов работы и варианты графического предъявления информации (рисунок 3, 4).

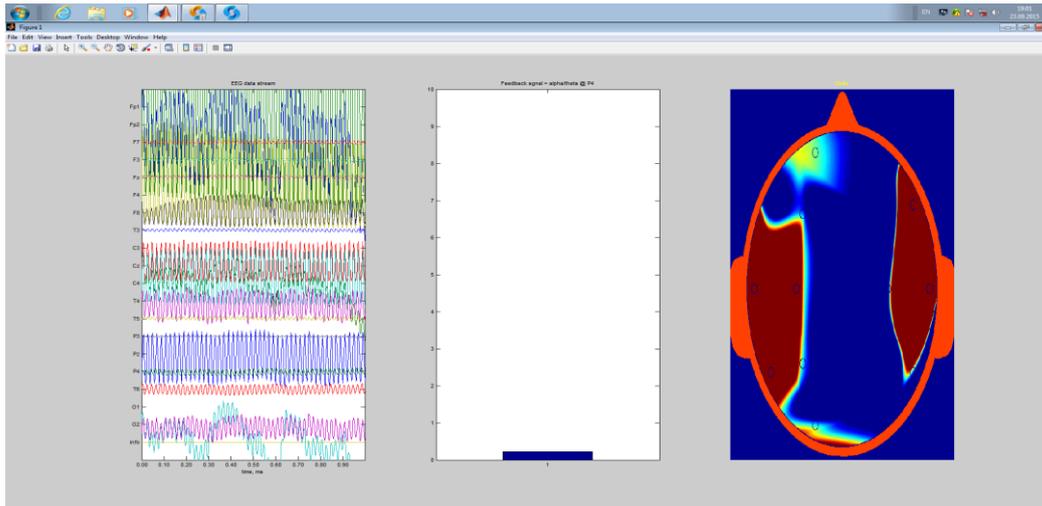


Рисунок 3. Интерфейс настроечного модуля

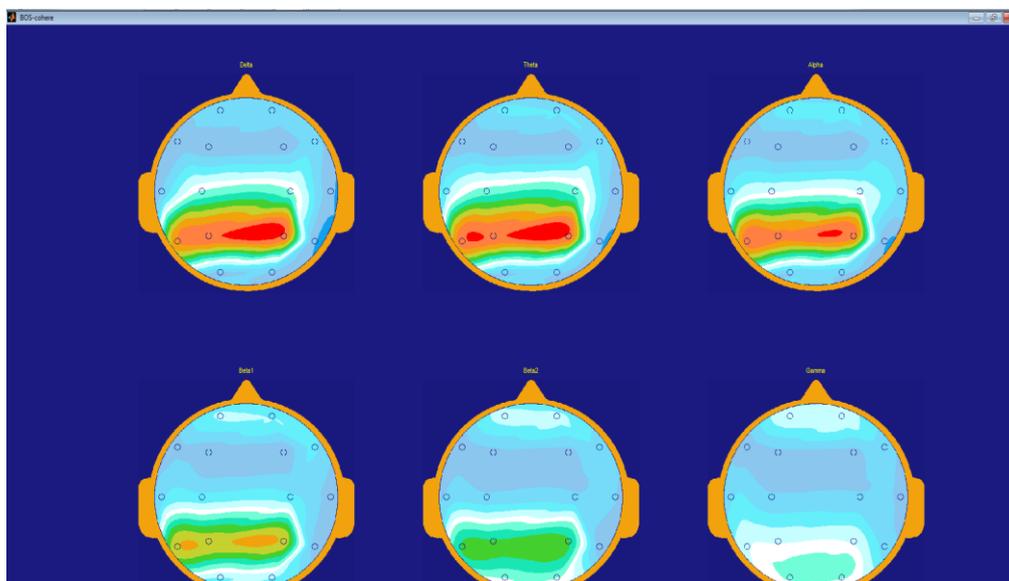


Рисунок 4. Вариант цветовой карты для наблюдения и коррекции Когерентности ритмов электрической активности головного мозга

Кроме представленного на рисунке 4 варианта цветовой карты для шести диапазонов электрической активности головного мозга возможна коррекция в одном или нескольких отдельно выбранных частотных диапазонах электрической активности головного мозга.

Разработан алгоритм обработки записей многоканальных электроэнцефалограмм для формирования сигнала БОС в реальном масштабе времени. Используемый алгоритм, на начальном этапе которого производится вычисления парных коэффициентов когерентности по отведениям (необходимое количество вычислений определяется квадратом числа анализируемых каналов ЭЭГ) с последующими усреднениями значений по каждому отведению в частотных поддиапазонах ритмической активности головного мозга, затрачивает больше времени необходимого для реализации вычислений в реальном масштабе времени. Предложено для снижения времени, затрачиваемого на вычисление $K_{ср}$, производить вычисление функции когерентности сигнала каждого отведения со средним сигналом от всех отведений ЭЭГ. Такой подход к реализации алгоритма позволил снизить количество вычислений взаимных и соб-

ственных спектров в N раз (где N – число каналов регистрируемой ЭЭГ) и реализовать возможность предъявлять значения $K_{ср}$ как сигнал БОС пациенту в реальном масштабе времени.

Разработан макет аппаратно-программного комплекса БОС для коррекции функциональных состояний центральной нервной системы человека на основе алгоритмов обработки сигналов многоканальных электроэнцефалограмм. Сигналы ЭЭГ регистрируются блоком усилителей компьютерного электроэнцефалографа «Мицар». Данный аппаратно-программный комплекс позволяет выполнять регистрацию и анализ сигналов 16 электроэнцефалографических отведений одновременно и в реальном масштабе времени. В качестве сигналов для БОС на основе анализа многоканальных ЭЭГ используется визуализация цветowych амплитудных карт $K_{ср}$. Реализованный макет комплекса позволяет проводить коррекцию функциональных состояний центральной нервной системы человека по результатам обработки сигналов электрической активности мозга. Комплекс позволит создать методики для углубленного изучения функций мозга, повысит уровень диагностики заболеваний, а также позволит создать средства для улучшения состояний центральной нервной системы человека.

Список литературы

- [1]. Докукина Т.В., Мисюк Н.Н. Визуальная и компьютерная ЭЭГ в клинической практике. – Минск: Книгазбор, 2011. – 188 с.
- [2]. Мисюк Н.Н., Докукина Т.В., Визуальная и компьютерная ЭЭГ в клинической практике. – Минск: Книгазбор, 2011. – 188 с.
- [3]. Мисюк Н.Н., Картирование показателей Когерентности ЭЭГ при эпилепсии. Докукина Т.В., Мисюк Н.Н., Клюев А.П., Вестник клинической нейрофизиологии, 2015 №3 - С. 6-14.
- [4]. Pillai J., Sperling M. R. Interictal EEG and the diagnosis of epilepsy// *Epilepsia*. – 2006. – 47 (suppl. I). – P. 12-14.
- [5]. Sterman M.B. EEG biofeedback in the treatment of epilepsy: An overview circa 1980. In: *Clinical Biofeedback: Efficacy and Mechanism* (Eds.: L.White, B.Tursky), 1982, pp.330-331, Guilford, NY.
- [6]. Peniston E.G., Kulkosky P.J. Neurofeedback in the treatment of addictive disorders. //In: *Introduction to quantitative EEG and Neurofeedback*. Eds.: Evans J.R. & Abarbanel A., 1999, Academic Press, p. 157-179.
- [7]. Kamiya J. Conscious control of brain wave. //*Psychol.Today*, 1968, v.1, p.56-60.

HARDWARE-SOFTWARE COMPLEX WITH BIOLOGICAL FEEDBACK OF MULTI-CHANNEL EEG

A.P. KLUEV
Assistant of the Department of Innental Psychology and Ergonomics of the BSUIR

A.N. OSIPOV, PhD
Vice-Rector for Scientific Work of the BSUIR, Associate Professor

O.P. VYSOTSKY
Assistant of the Department of Electronic Engineering and Technology of the BSUIR

N.N. MISUIK, PhD
Doctor of functional diagnostics, Republican research and practice center for mental health

*Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Republic of Belarus
Republican research and practice center for mental health, Republic of Belarus
E-mail: kluev@bsuir.by, osipov@bsuir.by, olegbom@gmail.com, misuik@mail.ru*

Abstract. Performed research in the field of creation of computer algorithms probability and statistical signal processing multi-channel EEGs, the algorithms for processing EEG signals in temporal, frequency and time-frequency to generate the signal biofeedback.

Key words: biological feedback, electroencephalogram, epilepsy, treatment algorithm.