

БИОМЕДИЦИНСКАЯ РАДИОЭЛЕКТРОНИКА



Biomedicine Radioengineering

4' 2018

В номере:

Исследование возможности распознавания
психической деятельности мозга
на основе вейвлетного анализа
электроэнцефалограммы

Свойства миллиметрового излучения
организма человека при нормальном
и патологическом состояниях

и др.



тел./факс: +7(495) 625-92-41
info@radiotec.ru

ПОДПИСНОЙ ИНДЕКС 47339 В КАТАЛОГЕ АГЕНТСТВА «РОСПЕЧАТЬ»: ГАЗЕТЫ И ЖУРНАЛЫ



Исследование возможности распознавания психической деятельности мозга на основе вейвлетного анализа электроэнцефалограммы

**Е.А. Юматов, А.Е. Храмов, В.В. Грубов, О.С. Глазачев,
Е.Н. Дудник, Н.А. Каратыгин**

Проведено тестирование временной визуальной дискриминационной способности человека осознавать смысловое содержание изображения на экране монитора с одновременной регистрацией электроэнцефалограммы (ЭЭГ) в разных отведениях. Усовершенствованы информационные возможности метода непрерывного вейвлетного анализа ЭЭГ для распознавания специфических паттернов психической деятельности головного мозга человека. Проведен вейвлетный анализ фрагментов записи ЭЭГ в момент осознания испытуемым смыслового содержания изображения в сравнении с записями ЭЭГ при отсутствии сознательного (субъективного) восприятия смыслового содержания изображения. Показаны достоверные различия альфа-ритма ЭЭГ между моментами осознания испытуемым смыслового содержания изображения и отсутствия сознательного (субъективного) восприятия смыслового содержания изображения.

Ключевые слова: мозг, психика, сознание, электроэнцефалограмма, непрерывный вейвлетный анализ.

The ability of a person to be conscious of the image on the screen of the monitor was tested with the simultaneous recording of the EEG using a computer program developed and an experimental PC-based installation. The information capabilities of the wavelet analysis EEG method were improved for the recognition of specific patterns of the human brain mental activity. Wavelet analysis of fragments of EEG recording were carried out at the moment of awareness of the semantic content of the image in comparison with EEG records in the absence of conscious (subjective) perception of the semantic content of the image. Significant differences in the alpha rhythm of the EEG are shown between the moments of awareness of the semantic content of the image and the absence of a conscious (subjective) perception of the semantic content of the image.

Keywords: brain, psychic, consciousness, electroencephalogram, wavelet analysis.

Головной мозг является уникальной системной организацией в живой природе, обладающей способностью к субъективной, психической деятельности, которая проявляется в сознании, мыслях, чувствах, эмоциях, т.е. в субъективном восприятии человека самого себя и окружающего мира.

Несмотря на огромные достижения современной психофизиологии и нейрофизиологии, существующие в данных областях методы не позволяют непосредственно регистрировать и изучать паттерны психической деятельности мозга [1–3].

© Авторы, 2018
© ООО «Издательство «Радиотехника», 2018

**Евгений Антонович
Юматов –**
д.м.н., профессор, академик
Международной академии наук,
гл. науч. сотрудник,
Научно-исследовательский институт
нормальной физиологии
им. П.К. Анохина (Москва);
гл. науч. сотрудник, Первый московский
государственный медицинский
университет им. И.М. Сеченова;
профессор, Национальный
исследовательский университет
(МЭИ) (Москва)

E-mail: eayumatov@mail.ru

**Александр Евгеньевич
Храмов –**
д.ф.-м.н., профессор, гл. науч.
сотрудник, зав. кафедрой, Саратовский
государственный технический
университет им. Ю.А. Гагарина

E-mail: hramovae@gmail.com

**Вадим Валерьевич
Грубов –**
к.ф.-м.н., ст. науч. сотрудник,
ассистент, Саратовский
государственный технический
университет им. Ю.А. Гагарина

E-mail: vvgrubov@gmail.com

**Олег Станиславович
Глазачев –**
д.м.н., профессор, академик
Международной академии наук,
зав. лабораторией, Первый московский
государственный медицинский
университет им. И.М. Сеченова

E-mail: glazachev@mail.ru

**Елена Николаевна
Дудник –**
к. м. н., доцент, Первый московский
государственный медицинский
университет им. И.М. Сеченова

E-mail: elenad72@list.ru

**Николай Алексеевич
Каратыгин –**
к.б.н., мл. науч. сотрудник,
Научно-исследовательский институт
нормальной физиологии
им. П.К. Анохина (Москва)

E-mail: nikolaseve@yandex.ru



При использовании классических методов анализа электроэнцефалограммы (ЭЭГ) можно видеть, что ритмическая активность имеет нестационарную природу, отличается чрезвычайно высоким разнообразием формы и частотного состава, что существенно ограничивает информационные возможности традиционных методов спектрального анализа сигналов.

Для раскрытия природы психической деятельности мозга необходима разработка принципиально новой информационной методологии, позволяющей расшифровать в нейрофизиологических процессах проявления (паттерны) психической деятельности мозга.

В последние годы получил развитие современный математический метод непрерывного вейвлетного анализа ЭЭГ [4–7].

Непрерывное вейвлетное преобразование имеет существенное преимущество перед классическим методом спектрального анализа ЭЭГ, поскольку позволяет проводить частотно-временной анализ сложных нестационарных сигналов, одним из которых является ЭЭГ. При этом вопрос о том, возможно ли ЭЭГ обнаружить проявления психической деятельности мозга, остается открытым.

Цель работы – разработка информационной технологии и методики для изучения психической деятельности мозга на основе непрерывного вейвлетного анализа сигнала ЭЭГ.

Задачи исследования следующие:

1) усовершенствование информационных возможностей метода непрерывного вейвлетного анализа ЭЭГ, создание специализированного «вейвлет-базиса», повышающего эффективность распознавания (точность, скорость и т.д.) специфических паттернов психической деятельности головного мозга человека;

2) проведение тестирования временной визуальной дискриминационной способности человека осознавать смысловое содержание изображения при наименьшей экспозиции изображения на экране монитора;

3) регистрация ЭЭГ в разных отведениях, в том числе в зрительной коре мозга, во время тестирования индивидуальной дискриминационной способности человека осознавать смысловое содержание изображения;

4) вейвлетный анализ фрагментов записи ЭЭГ в момент осознания испытуемым смыслового

содержания изображения в сравнении с записями ЭЭГ при отсутствии сознательного (субъективного) восприятия смыслового содержания изображения.

Материалы и методы

В работе использованы разработанная авторами экспериментальная установка на базе ПК и информационно-программное обеспечение для тестирования и выявления по ЭЭГ-показателям двух состояний деятельности мозга человека, одно из которых характеризуется субъективным, сознательным восприятием зрительного образа, другое – его отсутствием, из-за кратковременности предъявления визуального изображения [8, 9].

Экспериментальная установка на базе ПК имеет два монитора, которые одновременно используются во время тестирования. Первый монитор предназначен для экспериментатора, который производит настройку в главном окне «Окно экспериментатора» программы параметров: количество последовательно экспонируемых изображений, время экспозиции первого изображения, редукцию времени экспозиции последующих изображений, четкость изображения. Второй монитор, на котором отображаются зрительные образы в полноэкранном режиме, предназначен для испытуемого. На этом мониторе последний видит «Окно экспозиции», где последовательно появляется ряд изображений с прогрессивным уменьшением времени экспозиции.

Испытуемый должен внимательно смотреть на экран и осознавать появляющиеся на экране изображения. При определенном минимальном времени экспозиции на экране испытуемый увидит промелькнувшую картинку, но не сможет осознать ее смысловое содержание. После выполнения тестов каждый испытуемый сообщает, какое изображение он осмыслил, а какое изображение не смог осознать из-за кратковременности экспозиции. Разработанная компьютерная программа [10, 11] имеет интерфейс на русском языке. Программа предназначена для использования на компьютере под управлением ОС Windows 8, с двумя дисплеями: на одном находится окно управления программой, на другом – окно экспозиции изображений для испытуемого.

Программа имеет журнал эксперимента, в котором отражаются время начала экспозиции изображения, название рисунка и продолжительность

экспозиции изображения (в миллисекундах). Журнал отображается в главном окне программы для экспериментатора, а также сохраняется в файле, расположенному в каталоге Results. Файлу автоматически присваивается название, содержащее дату и время проведения эксперимента.

Программа содержит базу изображений, включающую 68 рисунков, с легко опознаваемыми зрительными образами: животных, растений, предметов быта, мебели, транспорта. Изображения имеют достаточное разрешение (300 dpi) и представлены в цвете. Каждый рисунок изображен красочно и четко.

Данная программа позволяет в случайном порядке формировать набор изображений, последовательно появляющихся на экране, каждый раз заново. Это дает возможность избежать привыкания испытуемого и стереотипности его ответов.

Обновление последовательности картинок осуществляется нажатием на кнопку «Перемешать». Экспериментатор может установить число изображений, которое программа будет выводить на экран для испытуемого в специальном окне «Количество изображений».

В программе также имеется возможность изменять резкость, насыщенность цвета и яркость рисунков. Для этого существуют регуляторы: «Размытие», «Насыщенность», «Яркость». Изменяя эти показатели, можно сделать изображение более или менее узнаваемым.

Программа позволяет изменять время между предъявлением картинок, т.е. продолжительность паузы между изображениями. Для этого в поле «Пауза между изображениями» можно установить, сколько секунд между двумя картинками будет длиться перерыв. В это время испытуемый будет видеть белый экран. Время экспозиции изображения всегда кратно времени обновления экрана дисплея компьютера. Например, при частоте монитора 60 Гц минимальное время отображения рисунка будет равно $1/60$, 16.7 мс. На таком экране рисунки будут выводиться с длительностью 17, 34, 51... мс, в зависимости от величины экспозиции в программе.

Экспериментатор может изменять время предъявления изображения. Программа может работать по двум алгоритмам уменьшения экспозиции: 1) уменьшение времени экспозиции следующего изображения в 2 раза; 2) уменьше-

ние времени экспозиции на постоянную величину. В поле «Начальная экспозиция» можно установить, в течение скольких миллисекунд будет показываться на экране первое изображение из набора. Поле «Уменьшение экспозиции» задает время в миллисекундах, на которое уменьшается время экспозиции следующего изображения.

При запуске программы первоначально открывается окно для экспериментатора. В этом окне видны все описанные выше кнопки, а также тот набор изображений с названиями, который увидит испытуемый. Числа под рисунками показывают время в миллисекундах, в течение которого программа будет экспонировать изображения. Если это время не кратно минимальному времени обновления экрана, то изображение будет длиться чуть дольше – до следующего обновления экрана.

Кнопка «Окно экспозиции» активирует окно для показа изображений испытуемому. Это же окно открывается автоматически при нажатии на кнопку «Старт», которая запускает эксперимент. После нажатия на кнопку «Старт» она сразу переименовывается в кнопку «Стоп»; нажав на нее, можно в любой момент остановить эксперимент.

Для управления двумя мониторами необходимо выбрать в графических характеристиках экрана «Расширенный рабочий стол», далее «Окно экспериментатора» вывести на главный монитор, а «Окно экспозиции» – на дополнительный монитор. Таким образом, по ходу исследования и в зависимости от поставленных задач экспериментатор может менять различные параметры в программе.

Используемый в экспериментальной модели прием изменения объема, четкости информационных признаков и времени экспозиции изображения позволяет индивидуально выявлять два различных состояния испытуемых, при одном из которых имеет место осмысление визуального изображения, при другом – отсутствует осознание его смыслового содержания.

В результате тестирования временной визуальной дискриминационной способности человека осознавать смысловое содержание изображения может быть определен момент субъективного осознания испытуемым смыслового содержания при наименьшей экспозиции на экране монитора предъявляемого визуального изображения.





Тест состоит в следующем: на мониторе последовательно появляется с определенным интервалом времени ряд визуальных изображений с постоянно уменьшающимся временем экспозиции. После проведения теста испытуемый указывает на тот момент, при котором он оказался не способным осознать смысловое содержание изображения. Предыдущее изображение с минимальным временем, содержание которого испытуемый осознал, принимается как момент возникновения индивидуального субъективного ощущения.

Во время проведения теста осуществляется запись ЭЭГ в разных структурах мозга в 10 отведениях ЭЭГ с помощью электроэнцефалографа «Нейрон-спектр» (г. Иваново), монополярно по схеме «10 – 20» в затылочных (O2, O1), теменных (P4, P3), центральных (C4, C3), лобных (F4, F3) и височных (T4, T3) отведениях. Объединенные референтные электроды располагаются на мочках ушей. Полоса фильтрации составляет 0,5...75,0 Гц, постоянная времени – 0,32 с, режективный фильтр – 50 Гц, частота оцифровки – 200 Гц.

Запись ЭЭГ проводилась в двух исходных состояниях: при закрытых и открытых глазах и во время проведения теста при просмотре изображений на мониторе. Каждому участнику последовательно предъявлялись 10 тестов визуальной экспозиции испытуемому демонстрировалось 25 изображений с последовательным уменьшением времени экспозиции.

Для проведения вейвлетного анализа ЭЭГ использовались файлы записи ЭЭГ 10 тестов визуальной экспозиции изображений каждого испытуемого. При этом сравнивались между собой записи ЭЭГ 1-го визуально осознаваемого изображения с максимальной длительностью, с последним, 10-м изображением, которое субъективно не воспринималось из-за минимального времени предъявления изображения на экране.

Непрерывное вейвлетное преобразование является оптимальным методом частотно-временного анализа нестационарных сигналов, в том числе ЭЭГ, а также служит надежной основой для создания алгоритмов автоматического распознавания отдельных форм ритмической активности на ЭЭГ [5, 6].

Частотно-временной анализ ЭЭГ с использованием непрерывного вейвлетного преобразова-

ния $W(s, \tau)$ представляет собой свертку исследуемого экспериментального сигнала ЭЭГ $x(t)$ и некоторой ограниченной (локальной) во времени базисной функции $\varphi_{s,\tau}(t)$:

$$W(s, \tau) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \varphi_{s,\tau}(t) dt. \quad (1)$$

Базисная функция $\varphi_{s,\tau}(t)$ формируется из материнского вейвлета с помощью следующего преобразования:

$$\varphi_{s,\tau}(t) = \frac{1}{\sqrt{s}} \phi_0 \left(\frac{t - \tau}{s} \right), \quad (2)$$

где s – временной масштаб, определяющий растяжение или сжатие материнской функции; τ – временной сдвиг вейвлетного преобразования; ϕ_0 – материнский вейвлет.

Вместо временного масштаба s удобно рассматривать частоту $f_s = 1/s$, которую вводят по аналогии с частотами Фурье-спектра.

Для выявления особенностей частотной динамики сигнала в некоторый фиксированный момент времени $t_{\text{фикс}}$ используют мгновенные распределения амплитуды вейвлетной энергии, что является аналогией спектра, получаемого при оконном преобразовании Фурье:

$$E(f_s) = |W(f_s, t = t_{\text{фикс}})|. \quad (3)$$

Как показано в [4, 6], для проведения частотно-временного анализа ритмической активности на ЭЭГ оптимальным является комплексный вейвлет Морле:

$$\phi(\eta) = \frac{1}{\sqrt[4]{\pi}} e^{j\omega_0 \eta} e^{-\frac{\eta^2}{2}} \quad (4)$$

с центральной частотой $\omega_0 = 2\pi$, который обеспечивает максимально сбалансированное представление сигнала ЭЭГ во временной и частотной областях.

Основываясь на теории оптимального управления и вариационного исчисления, А.И. Nazimov et al. (2013) разработали математический метод автоматического выбора оптимального адаптивного вейвлет-базиса, позволяющий выявлять определенные осцилляторные паттерны на ЭЭГ. Этот метод получил название «серийное распознавание» («Serial identification») [12].



Для стандартизации ритмической активности на ЭЭГ был предложен принципиально новый адаптивный вейвлетный анализ, нацеленный на выделение единой шаблонной функции, обладающей максимальным сродством к искомому паттерну на ЭЭГ [4].

Для сокращения времени расчетов при анализе большого массива данных ЭЭГ, авторами настоящей статьи был разработан новый алгоритм автоматического распознавания нескольких паттернов на ЭЭГ, основанный на расчете энергии вейвлетного спектра в нескольких полосах частот [5]. Наряду с этим, для улучшения качества выделения паттернов, был предложен метод предварительной адаптивной фильтрации, основанный на частотно-временном анализе сигналов с использованием разложения по эмпирическим модам [5].

По результатам проведенных исследований подготовлен ряд программ для ЭВМ для автоматического информационного вейвлет-анализа ЭЭГ [13–16].

В исследовании принимали участие 20 человек мужского пола, разного возраста, на основе добровольного информационного согласия. Всего было проведено 200 тестов, в которых было предъявлено испытуемым 5000 изображений.

Статистическая обработка результатов про-

водилась с помощью теста для связанных выборок и расчета критерия Уилкоксона.

Результаты и обсуждение

Получены результаты тестирования временной визуальной дискриминационной способности человека осознавать смысловое содержание изображения на экране монитора при одновременной регистрации ЭЭГ в 10 отведениях (рис. 1).

Проведено усовершенствование метода математического вейвлетного анализа ЭЭГ, ориентированного на кратковременность проявления психической деятельности мозга, которое отражено в статье V.V. Grubov et al. (2017) [17].

Для расчета частотно-временных характеристик сигнала ЭЭГ было разработано оригинальное программное обеспечение (ПО) на языке программирования Python. Данное ПО работает с сигналами ЭЭГ, записанными в виде текстовых файлов формата .txt или .dat в две колонки: момент времени на сигнале ЭЭГ – значение амплитуды сигнала ЭЭГ в данный момент времени.

Программа может работать с мультиканальными записями ЭЭГ, записанными как в один общий файл, так и в разные файлы (один файл – один канал). В возможности разработанного ПО

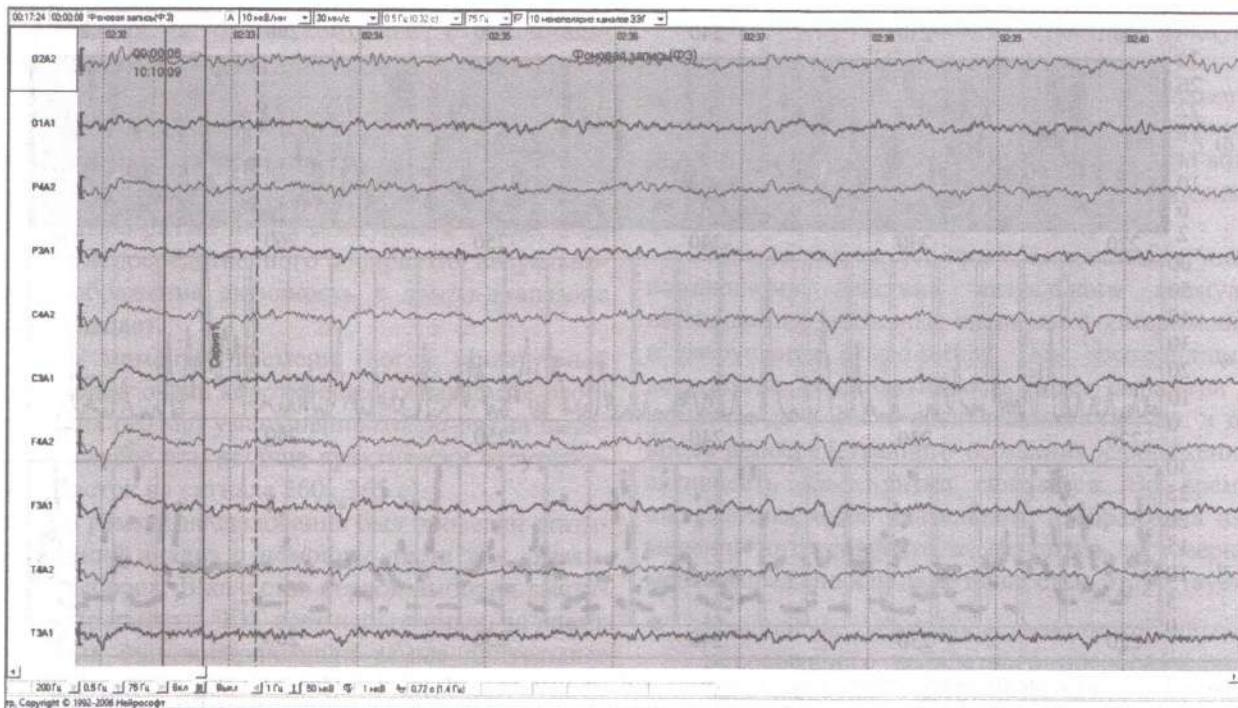


Рис. 1. Пример записи ЭЭГ в разных структурах мозга в 10 отведениях у испытуемого



входят расчет и вывод в текстовые файлы формата .txt или .dat представленных ниже характеристик:

1. *Мгновенная энергия вейвлетного преобразования (вейвлет-спектры)*. Расчет производится по стандартной схеме расчета вейвлетной энергии на базе материнского вейвлета Морле с центральной частотой 2Π . В данном модуле используется процедура табуляции материнского вейвлета, т.е. все необходимые значения материнского Морлевейвлета рассчитываются заранее и записываются в массив, затем при расчете вейвлетной энергии нужные значения материнского вейвлета берутся из массива, а не рассчитываются заново, что значительно снижает время расчета мгновенной энергии вейвлетного преобразования. Рассчитанная энергия выводится в текстовые файлы формата .txt или .dat из трех колонок: момент времени на сигнале ЭЭГ – значение частоты – значение мгновенной вейвлет-энергии.

2. *Усредненная по диапазону частот энергия вейвлет-преобразования*. Для расчета данной характеристики используются результаты расчета мгновенной энергии вейвлетного преобразования. Вейвлет-энергия усредняется по диапазону частот, выбираемому пользователем. Результат выводится в текстовые файлы формата .txt или .dat из двух колонок: момент времени на сигнале ЭЭГ – значение усредненной вейвлет-энергии.

3. «*Скелетоны*» вейвлетной поверхности. Для расчета этой характеристики также используются результаты расчета мгновенной энергии вейвлетного преобразования. В данном модуле в каждый момент времени на сигнале ЭЭГ производится поиск локальных максимумов из значений вейвлет-энергии и частот, которым они соответствуют. Указанные максимумы и являются так называемыми «скелетонами». Пользователь может выбирать количество выделяемых максимумов («скелетонов»). Результат выводится в текстовые файлы

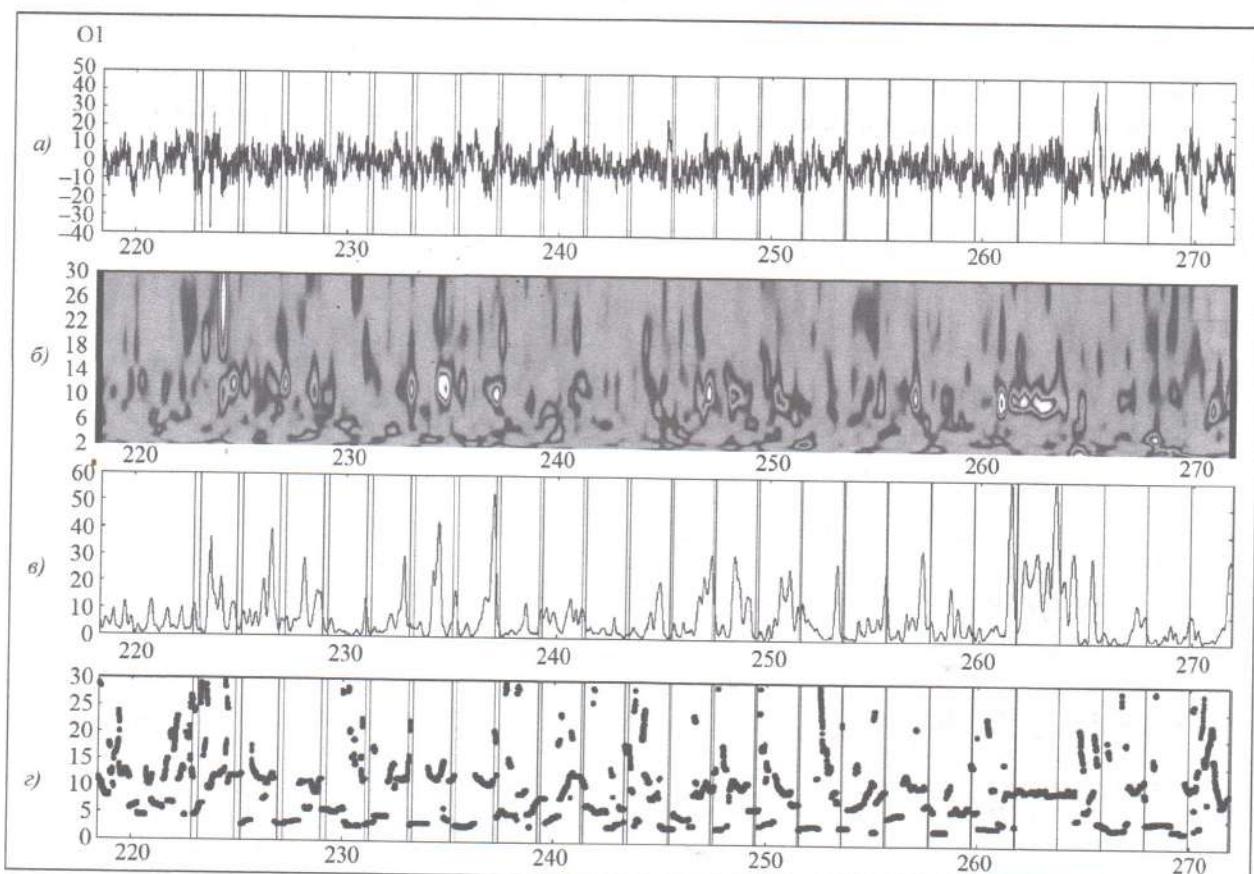


Рис. 2. Результаты частотно-временного анализа сигнала ЭЭГ: исходный сигнал ЭЭГ с канала О1 (а); вейвлет-спектр (б); усредненная энергия вейвлетного преобразования (в); «скелетон» вейвлетной поверхности (г). Вертикальные линии обозначают начало и конец предъявления отдельного визуального стимула



формата .txt или .dat из трех колонок для каждого «скелетона» отдельно: момент времени на сигнале ЭЭГ – значение частоты «скелетона» – значение мгновенной вейвлет-энергии, соответствующей «скелетону».

Для визуализации полученных при помощи разработанного ПО результатов были использованы такие средства построения 2D и 3D графиков, как gnuplot и surfer 13.

С помощью вейвлетного анализа обработаны фрагменты записи ЭЭГ в момент осознания испытуемым смыслового содержания изображения в сравнении с записями ЭЭГ при отсутствии сознательного (субъективного) восприятия смыслового содержания изображения. Результаты анализа представлены на рис. 2.

На первом этапе были построены вейвлет-спектры для получения общей картины частотно-временной структуры сигналов ЭЭГ. Из рис. 2,б видно, что ритмы в альфа-диапазоне являются одними из доминирующих, а также четко видно, что происходят периодическое разрушение и формирование альфа-ритма.

Для более детального исследования активности в альфа-диапазоне вейвлет-спектры были усреднены по диапазону альфа-частот – 8...12 Гц. Распределение такой усредненной энергии представлено на рис. 2,в. Также для отслеживания частотных компонент с максимальной энергией были построены так называемые «скелетоны» вейвлетной поверхности (рис. 2,г).

На рис. 2,в и г видно, что, когда испытуемый наблюдает осознаваемые длительные визуальные изображения (200...300 мс), присутствует пик альфа-ритма перед стимулом и после, а во время непосредственного восприятия визуального изображения активность в альфа-диапазоне резко падает.

В моменты времени, когда испытуемый наблюдает очень короткие неосознаваемые изображения (~0 мс) уменьшение альфа-ритма выражено слабее или вообще практически отсутствует (участок на сигнале 260...265 с).

В рамках исследования был проведен статистический анализ с помощью теста для связанных выборок. В качестве первой выборки выступили фрагменты ЭЭГ всех испытуемых, во время которых они воспринимали самые длительные изображения (200...300 мс). В качестве второй выборки были взяты сигналы ЭЭГ, соответствую-

ющие моменту «неосознанного» изображения. Для двух данных выборок сравнивалась интенсивность альфа-ритма в моменты непосредственного восприятия изображения. В ходе статистического анализа был рассчитан критерий Уилкоксона, и его значение в среднем составило $p<0,05$. Данный результат говорит о том, что разница в интенсивности альфа-ритма для двух рассмотренных выборок является значимой.

Можно полагать, что, при наличии слабо выраженной динамики в альфа-диапазоне во время «неосознанного» краткосрочного действия визуальных стимулов, все же имеет место небольшое проявление психической деятельности мозга, при которой сохраняется самооценка невозможности осознания смыслового содержания зрительного изображения.

Полученные результаты показывают, что психическая деятельность мозга, проявляющаяся в осознании визуального изображения, отражается в альфа-диапазоне ЭЭГ. Во время непосредственного восприятия и осознания зрительного изображения активность в альфа-диапазоне ЭЭГ резко падает. В моменты времени, когда испытуемый не способен осознать кратковременные изображения, уменьшение альфа-ритма слабо выражено или практически отсутствует.

Таким образом, можно отметить важную роль альфа-ритма ЭЭГ в отражении психической деятельности мозга при осознании зрительного образа. Наряду с этим важна динамика активности в альфа-диапазоне до, во время и после воздействия визуального стимула, т.е. динамика формирования и разрушения альфа-ритма.

Можно видеть, что при «осознанном» и «неосознанном» действии визуального стимула наблюдаются различные сценарии формирования и разрушения альфа-ритма. При «осознанном» восприятии альфа-активность более выражена в моменты до и после предъявления стимула, а во время непосредственного осознания изображения активность альфа-ритма снижается. Во время «неосознаваемого» визуального изображения изменение интенсивности альфа-ритма достоверно менее выражено или даже полностью отсутствует.

- На основе усовершенствованного метода непрерывного вейвлетного преобразования был проведен частотно-временной анализ ЭЭГ при тестировании временной визуаль-



ной дискриминационной способности человека осознавать смысловое содержание изображения на экране монитора.

Вейвлетный анализ фрагментов записи ЭЭГ показывает, что основной ритм ЭЭГ, по которому можно судить о наличии субъективного восприятия зрительного изображения, является *альфа*-ритм. Выявлены достоверные различия в динамике *альфа*-ритма ЭЭГ при осознании испытуемым смыслового содержания изображения и при отсутствии сознательного (субъективного) восприятия смыслового содержания изображения.

Проведенные исследования позволяют сделать важный вывод о возможности выявления

в ЭЭГ проявлений психической деятельности мозга, связанной с осознанием визуального изображения.

В дальнейшем планируется проведение детального вейвлет-анализа массива экспериментальных данных для выявления специфических компонент *альфа*-ритма ЭЭГ, характерных для психической (субъективной) деятельности мозга человека.

Работа поддержана грантом РFFI № 16-07-00725\16 по теме: «Исследование возможности создания информационной технологии для выявления и распознавания психической деятельности мозга, на основе вейвлетного анализа электроэнцефалограммы».

■ Литература

1. Нагель Т. Мыслимость невозможного и проблема духа и тела // Вопросы философии. 2001. № 8.
2. Юматов Е.А. Психическая деятельность мозга – «ключ» к познанию // Вестник Международной академии наук. Русская секция. 2013. № 1. С. 35–45.
3. Yumatov E.A. To knowledge of the origin of the brain mental activity // World Journal of Neuroscience. 2014. V. 4. № 2. P. 170–182.
4. Павлов А.Н., Храмов А.Е., Короновский А.А., Ситникова Е.Ю., Макаров В.А., Овчинников А.А. Вейвлет-анализ в нейродинамике // УФН. 2012. 182(9). С. 905–939 (<http://ufn.ru/ru/articles/2012/9/a/>).
5. Грубов В.В., Ситникова Е.Ю., Короновский А.А., Павлов А.Н., Храмов А.Е. Автоматическое выделение и анализ осцилляторных паттернов на нестационарных сигналах ЭЭГ с использованием вейвлетного преобразования и метода эмпирических мод // Изв. РАН. Сер. Физическая. 2012. 76(12). С. 1520–1523.
6. Короновский А.А., Макаров В.А., Павлов А.Н., Ситникова Е.Ю., Храмов А.Е. Вейвлеты в нейродинамике и нейрофизиологии. М.: Физматлит. 2013.
7. Hramov A.E., Koronovskii A.A., Makarov V.A., Pavlov A.N., Sitnikova E.Yu. Wavelets in Neuroscience. 2015. Springer Heidelberg New York Dordrecht London, 318 p.
8. Потапова О.В., Потапов В.Ю., Юматов Е.А. Информационно-программное обеспечение для электроэнцефалографического анализа психической деятельности мозга // Нейрокомпьютеры: разработка и применение. 2016. № 11. С. 45–50.
9. Yumatov E.A., Potapova O.V., Potapov V.Y., Glazachev O.S. and Rajewski V.V. The experimental behavioral model and software to identify of mental activity of the brain. Psychology and Behavioral Science International Journal. 2017. V. 2. № 1. P. 1–4. <http://juniperpublishers.com/pbsij/volume2-issue1-pbsij.php>
10. MacDonald M. Pro WPF 4.5 in C#: Windows Presentation Foundation in .NET 4.5 Apress. 2012. 4th Edition. 1095 p.
11. Stenning Justin. Direct3D Rendering Cookbook. 2014. Packt Publishing. 430 p.
12. Nazimov A.I., Pavlov A.S., Nazimova A.A., Grubov V.V., Koronovskii A.A., Sitnikova E.Yu., Hramov A.E. Serial identification of EEG patterns using adaptive wavelet-based analysis. Eur. Phys. J. Special Topics. 2013. P. 222, 2713–2722.
13. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015616774. Программа для ЭВМ для расчета вейвлетного взаимного спектра (Program for calculation the wavelet cross spectrum) / В.В. Грубов, М.О. Журавлев, А.Е. Храмов. 2015.
14. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014610494. Программа для ЭВМ для проведения потокового вейвлетного преобразования длинных временных рядов в реальном времени / В.А. Максименко, А.А. Короновский, А.Е. Храмов, Н.С. Фролов, В.В. Грубов. 2014. Правообладатель: ФГБОУ ВПО СГТУ им. Гагарина Ю.А. Официальный бюллетень Реестра программ для ЭВМ. Москва. 10.01.2014.
15. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2013611018. Программа для ЭВМ для диагностики пространственно-временных осцилляторных паттернов в записях электрической активности головного мозга / В.В. Грубов, А.А. Короновский, А.Е. Храмов. 2013. Правообладатель: ФГБОУ ВПО СГТУ имени Гагарина Ю.А. Официальный бюллетень Реестра программ для ЭВМ. Москва. 09.01.2013.
16. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2013611017. Программа аддитивного распознавания характерных осцилляторных паттернов на основе вейвлет-преобразования / А.И. Назимов, А.Н. Павлов, В.В. Грубов, А.Е. Храмов. 2013. Правообладатель: ФГБОУ ВПО СГТУ имени Гагарина Ю.А. Официальный бюллетень Реестра программ для ЭВМ. Москва. 09.01.2013.
17. Grubov V.V., Sitnikova E.Yu., Pavlov A.S., Koronovskii A.A., Hramov A.E. Recognizing of stereotypic patterns in epileptic EEG using empirical modes and wavelets // Physica A. 2017. V. 486. P. 206–217.
18. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378437117306106?via%3Dihub>
19. <https://www.sciencedirect.com/science/journal/03784371>

Поступила 26 февраля 2018 г.

Investigation of the possibility recognition the brain mental activity on the basis of wavelet analysis of electroencephalogram



© Authors, 2018
© Radiotekhnika, 2018

E.A. Yumatov

Dr. Sc. (Med.), Professor, Member of International AS (IAS); Chief Research Scientist, P.K. Anokhin Scientific Research Institute of Normal Physiology; Chief Research Scientist, I. M. Sechenov First Moscow State Medical University; Professor, National Research University «Moscow Power Engineering Institute»

E-mail: eayumatov@mail.ru

A.E. Kramov

Dr. Sc. (Phys.-Math.), Professor, Chief Research Scientist, Head of the Department,
Gagarin Yu.A. Saratov State Technical University

E-mail: hramovae@gmail.com

V.V. Grubov

Ph.D. (Phys.-Math.), Senior Research Scientist, Assistant, Gagarin Yu.A. Saratov State Technical University
E-mail: vvgrubov@gmail.com

O.S. Glazachev

Dr. Sc. (Med.), Professor, Member of International AS (IAS); Head of laboratory,
I.M. Sechenov First Moscow State Medical University

E-mail: glazachev@mail.ru

E.N. Dudnik

Ph.D. (Med.), Associate Professor, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University.
E-mail: elenad72@list.ru

N.A. Karatigin

Ph.D. (Biol.), Junior Research Scientist, P.K. Anokhin Scientific Research Institute of Normal Physiology (Moscow)
E-mail: nikolaseve@yandex.ru

The brain is a unique organization in the living nature, possessing the ability for psychic activity, which manifests itself in the mind, in thoughts, feelings, emotions.

At the present time, the progressive mathematical method of wavelet analysis of the electroencephalogram (EEG) has been developed, which opens new possibilities for revealing the information content of a brain processes.

The purpose of this study is the development of information technology for studying the mental activity of the brain based on wavelet analysis of the EEG.

The ability of a person to be conscious of the image on the screen of the monitor was tested with the simultaneous recording of the EEG using a computer program developed and an experimental PC-based installation.

The information capabilities of the wavelet analysis EEG method were improved for the recognition of specific patterns of the human brain mental activity.

Wavelet analysis of fragments of EEG recording were carried out at the moment of awareness of the semantic content of the image in comparison with EEG records in the absence of conscious (subjective) perception of the semantic content of the image.

Significant differences in the alpha rhythm of the EEG are shown between the moments of awareness of the semantic content of the image and the absence of a conscious (subjective) perception of the semantic content of the image.

Wavelet analysis of fragments of EEG recording shows that the basic EEG rhythm, from which one can judge the presence of subjective perception of the visual image, is the alpha rhythm.

The carried out researches allow drawing the important conclusion about an opportunity of revealing in EEG of displays of a brain mental activity connected with visual image awareness.

REFERENCES

1. Nagel' T. My'slmost' nevozmognogo i problema duxa i tela // Voprosy' filosofii. 2001. № 8.
2. Yumatov E.A. Psicheskaya deyatelnost' mozga, – «klyuch» k poznaniyu // Vestnik Mezhdunarodnoj akademii nauk. Russkaya sektsiya. 2013. № 1. S. 35–45.
3. Yumatov E.A. To knowledge of the origin of the brain mental activity // World Journal of Neuroscience. 2014. V. 4. № 2. P. 170–182.
4. Pavlov A.N., Xramov A.E., Koronovskij A.A., Sitnikova E.Ju., Makarov V.A., Ovchinnikov A.A. Vejvlet-analiz v nejrodinamike // UFN. 2012. 182(9). S. 905–939 (<http://ufn.ru/ru/articles/2012/9/a/>).
5. Grubov V.V., Sitnikova E.Ju., Koronovskij A.A., Pavlov A.N., Xramov A.E. Avtomaticheskoe vy'delenie i analiz oscilleyatornyx patternov na nes-tacionarnyx signalax E'EG s ispol'zovaniem vejvletnogo preobrazovaniya i metoda e'mpiricheskix mod // Izv. RAN. Ser. Fizicheskaya. 2012. 76(12). S. 1520–1523.
6. Koronovskij A.A., Makarov V.A., Pavlov A.N., Sitnikova E.Ju., Xramov A.E. Vejvlety' v nejrodinamike i nejrofiziologii. M.: Fizmatlit. 2013.



7. Hramov A.E., Koronovskii A.A., Makarov V.A., Pavlov A.N., Sitnikova E.Yu. Wavelets in Neuroscience. 2015. Springer Heidelberg New York Dordrecht London, 318 p.
8. Potapova O.V., Potapov V.Ju., Jumatov E.A. Informacionno-programmnoe obespechenie dlya elektron'czefalograficheskogo analiza psichcheskoj deyatel'nosti mozga // Nejrokom'pyutery: razrabotka i primenie. 2016. № 11. S. 45–50.
9. Yumatov E.A., Potapova O.V., Potapov V.Y., Glazachev O.S. and Rajewski V.V. The experimental behavioral model and software to identify of mental activity of the brain. Psychology and Behavioral Science International Journal. 2017. V. 2. № 1. P. 1–4. <http://juniperpublishers.com/pbsij/volume2-issue1-pbsij.php>
10. MacDonald M. Pro WPF 4.5 in C#: Windows Presentation Foundation in NET 4.5 Apress. 2012. 4th Edition. 1095 p.
11. Stenning Justin. Direct3D Rendering Cookbook. 2014. Packt Publishing. 430 p.
12. Nazimov A.I., Pavlov A.S., Nazimova A.A., Grubov V.V., Koronovskii A.A., Sitnikova E.Yu., Hramov A.E. Serial identification of EEG patterns using adaptive wavelet-based analysis. Eur. Phys. J. Special Topics. 2013. P. 222, 2713–2722.
13. Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii programmy dlya EVM № 2015616774. Programma dlya EVM dlya rascheta vejletnogo vzaimnogo spektra (Program for calculation the wavelet cross spectrum) / V.V. Grubov, M.O. Zhuravlev, A.E. Xramov. 2015.
14. Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii programmy dlya EVM № 2014610494. Programma dlya EVM dlya provedeniya potokovogo vejletnogo preobrazovaniya dilin'y x vremennyx ryadov v real'nom vremenii / V.A. Maksimenko, A.A. Koronovskij, A.E. Xramov, N.S. Frolov, V.V. Grubov. 2014. Pravoobladatel': FGBOU VPO SGTU im. Gagarina Ju.A. Oficial'nyj byulleten' Reestra programm dlya EVM. Moskva. 10.01.2014.
15. Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii programmy dlya EVM № 2013611018. Programma dlya EVM dlya diagnostiki prostranstvenno-vremennyx osczilyatornyx patternov v zapisyakh elektricheskoy aktivnosti golovnogo mozga / V.V. Grubov, A.A. Koronovskij, A.E. Xramov. 2013. Pravoobladatel': FGBOU VPO SGTU imeni Gagarina Ju.A. Oficial'nyj byulleten' Reestra programm dlya EVM. Moskva. 09.01.2013.
16. Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii programmy dlya EVM № 2013611017. Programma adaptivnogo raspoznavaniya xarakternyx osczilyatornyx patternov na osnove vejlet-preobrazovaniya / A.I. Nazimov, A.N. Pavlov, V.V. Grubov, A.E. Xramov. 2013. Pravoobladatel': FGBOU VPO SGTU imeni Gagarina Ju.A. Oficial'nyj byulleten' Reestra programm dlya EVM. Moskva. 09.01.2013.
17. Grubov V.V., Sitnikova E.Yu., Pavlov A.S., Koronovskii A.A., Hramov A.E. Recognizing of stereotypic patterns in epileptic EEG using empirical modes and wavelets. Physica A. 2017. V. 486. P. 206–217.
18. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378437117306106?via%3Dhub>
19. <https://www.sciencedirect.com/science/journal/03784371>

ВНИМАНИЕ !

**Со второго полугодия 2004 г. в Издательстве «Радиотехника»
выходит в свет
журнал**

«Технологии живых систем»

**Главный редактор д.м.н., чл.-корр. РАН
Арманис Альбертович Камалов**

В журнале отражаются прикладные проблемы наук о жизни, биологических технологий, биоматериаловедения и исследования на стыке биологии, медицины, физики, химии, математики, других естественных и гуманитарных наук с междисциплинарных позиций.

**Журнал включен в перечень ВАК,
а также входит в состав базы
Russian Science Citation Index (RSCI)
на платформе Web of Science**

Подписаться на журнал можно по каталогам:

«Роспечать» – подписной индекс 84233, «Пресса России» – подписной индекс 11817,
а также непосредственно в Издательстве «Радиотехника» по адресу:
107031, Москва, Кузнецкий мост, 20/6.
Тел./факс: +7(495) 625-92-41, тел: +7(495) 625-78-72, +7(495)621-48-37
<http://www.radiotec.ru> e-mail:info@radiotec.ru