

## **Биомедицинские приборы и системы**

УДК 519.6

А.М. Канайкин, А.А. Попов, канд. техн. наук, К.А. Рощина, О.Р. Чертов, канд. техн. наук,  
В.А. Шашков

### **Обнаружение артефактов в сигнале электроэнцефалограммы с помощью вейвлет-преобразования**

В работе рассмотрена задача очистки сигнала электроэнцефалограммы от артефактов. Предложен метод выявления электроокулограмм и восстановления сигнала после их удаления на основании дискретного вейвлет-преобразования электроэнцефалограммы. На рассмотренных примерах реальных сигналов разработанный метод хорошо себя проявил при локализации и устранении электроокулограмм.

The paper considers the task of cleaning up the EEG signal from artifacts. Method for identifying electrooculogram and signal recovery after its removal using discrete wavelet transform of the electroencephalogram is proposed. The developed method showed nice results on examined examples of real signals at localization and removal of artifacts.

**Ключевые слова:** ЭЭГ, артефакты, электроокулограмма, дискретное вейвлет-преобразование, очистка сигнала, обнаружение артефактов.

#### **Введение**

Электроэнцефалографический анализ является одним из наиболее важных методов оценки состояния активности мозга. Однако электроэнцефалограф регистрирует не только сигнал, исходящий от коры головного мозга. Как правило, в нем присутствуют также составляющие, непосредственно не связанные с деятельностью исследуемого органа и являющиеся по отношению к полезному сигналу артефактами, при этом их амплитуда может быть в несколько раз больше. Поэтому анализ электроэнцефалограммы (ЭЭГ) требует предварительной обработки сигнала.

Артефакты могут быть разделены по своему происхождению на две группы: физические и физиологические [1]. Причиной появления физических артефактов является нарушение технических правил регистрации ЭЭГ, а также несовершенство применяемой аппаратуры. Физиологические артефакты связаны с регистрацией функциональной активности организма помимо головного мозга, их причинами могут быть:

- потенциалы, связанные с движением глаз и морганием, – электроокулограмма (ЭОГ);
- электрические потенциалы, вызванные глотательными движениями;
- мышечные потенциалы – электромиограмма (ЭМГ);
- потенциалы электрокардиограммы (ЭКГ);
- электрические потенциалы, связанные с изменением физиологического состояния кожи.

Цель данного исследования – разработка нового метода для автоматического выявления ЭОГ и восстановления сигнала после их удаления.

#### **1. Методы коррекции артефактов движения глаз**

На данный момент предложено несколько методов для решения поставленной задачи, но каждый из них обладает рядом недостатков, поэтому проблема обнаружения и удаления артефактов до сих пор окончательно не решена.

Самый простой и самый распространенный на данный момент в отечественной медицине метод состоит в вырезании (удалении) временных интервалов ЭЭГ, содержащих артефакты, причем, и задача обнаружения артефакта, и задача выделения соответствующих временных участков записи, полностью возлагается на врача. Еще одним недостатком данного подхода является то, что он приводит к значительной потере данных доступных для анализа. Это связано с тем, что вырезается весь участок многоканального ЭЭГ-сигнала, хотя артефакты проявляются, в основном в лобных и височных отведениях.

Широко используются методы удаления ЭОГ, основанные на регрессионном анализе во временной [2] или частотной областях [3]. Однако оба метода зависят от канала, который регистрирует движения глаза – канала ЭОГ. Также трудности применения этих методов обусловлены тем, что влияние сигнала глазной деятельности и сигнала мозговой активности – двуполосное, поэтому вычитание канала ЭОГ из ЭЭГ с определенными весами не всегда дает хороший результат.

Другой класс методов основан на линейном разложении сигнала ЭЭГ и ЭОГ на составляющие компоненты, выделении артефакта и восстановлении ЭЭГ без компоненты артефакта. Для этого применяется анализ главных компонент (АГК) [4] и анализ независимых компонент (АНК) [5]. Методы, основанные на АГК, не позволяют полностью выделить ЭОГ из сигнала, когда в нем присутствуют полезные составляющие и артефакты одинаковой амплитуды. Также у данного подхода есть и ряд других недостатков [6], вследствие чего большую популярность получили методы на основании АНК. Полуавтоматический метод устранения артефактов на основании АНК был предложен в [5]. Однако для удаления артефактов, используя данный подход, необходимо предварительно отобрать участки для анализа либо на основании визуальной проверки врачом-экспертом, либо – анализа канала ЭОГ.

**2. Метод удаления артефактов на основании вейвлет-преобразования ЭЭГ**

В последнее время в литературе появились публикации, посвященные нахождению и классификации артефактов в сигнале ЭЭГ с применением вейвлет-преобразования [7-9]. В данной работе предлагается использовать новый метод поиска электроокулограмм (ЭОГ) и восстановления исходного очищенного сигнала, который базируется на дискретном вейвлет-преобразовании (ДВП) [10] сигнала мозговой активности. В отличие от работ [7, 8] предлагаемый метод позволяет непосредственно производить очистку исходного сигнала от артефактов, а в отличие от работы [9] мы предлагаем применять другой (несимметричный) вейвлетный базис, который более адекватен обрабатываемым артефактам.

ДВП обеспечивает достаточно информации, как для анализа сигнала, так и для его синтеза, являясь вместе с тем более экономным по числу операций и требуемой памяти по сравнению с непрерывным вейвлет-преобразованием. ДВП можно представить с помощью двух фильтров (рис. 1): нижних и высоких частот.

Один уровень ДВП записывается следующим образом:

$$y_{выс}[k] = \sum_n x[n] \cdot g[2k - n]$$

$$y_{низ}[k] = \sum_n x[n] \cdot h[2k - n]$$

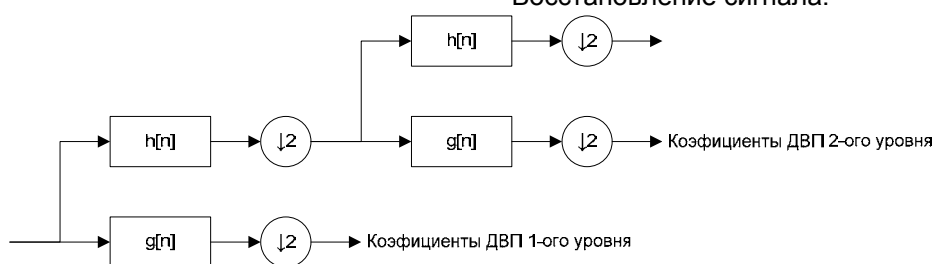
где  $x[n]$  – исходный сигнал,  $h[n]$  – фильтр нижних частот (НЧ),  $g[n]$  – фильтр высоких частот (ВЧ),  $y_{выс}[k]$  и  $y_{низ}[k]$  – прореженные в два раза выходы ВЧ- и НЧ-фильтров, соответственно.

Для расчета ДВП необходимо выбрать материнскую функцию, т.е. порождающую базовую функцию для функций с различной шириной носителя, используемых в преобразовании. В данной работе в качестве материнской функции для анализа ЭЭГ-сигнала использовался вейвлет Добеши второго порядка (рис. 2).

Рассмотрим фрагмент реального сигнала ЭЭГ длительностью 16 секунд с частотой дискретизации 256 Гц с двумя ЭОГ (рис. 3). Обычная частота волны ЭОГ составляет 1-3 Гц, но при трепетании век частота может достигать 4-6 Гц. Поэтому разложение сигнала для данного набора параметров предлагается осуществлять до 8 уровня, а анализ коэффициентов – производить на 5-8 уровнях.

Обработку сигнала ЭЭГ будем выполнять поэтапно:

- Декомпозиция исходного сигнала до 8 уровня.
- Задание порога для значений коэффициентов разложения. В данной работе порог был подобран эмпирически, направлением дальнейших исследований будет поиск способа определения порога, исходя из требуемой специфичности и селективности.
- Локализация ЭОГ на предложенных для анализа уровнях, выделяются те значения коэффициентов детализации, которые превышают пороговое значение для данного уровня.
- Обнуление коэффициентов детализации, отвечающих отсчетам предполагаемого места артефакта на 5-8 уровнях и соответствующих коэффициентов аппроксимации на последнем уровне разложения.
- Восстановление сигнала.



**Рис. 1. Схема вейвлет-анализа ( $g(z)$  – фильтр высоких частот,  $h(z)$  – фильтр нижних частот,  $\downarrow 2$  – «двоичное прореживание», т.е. понижение частоты отсчетов в два раза)**

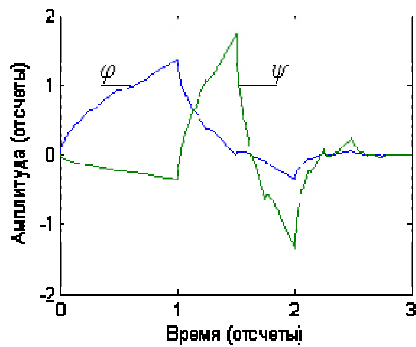


Рис. 2. Вейвлет Добеши второго порядка ( $\psi$  – материнская функция,  $\phi$  – масштабирующая функция)

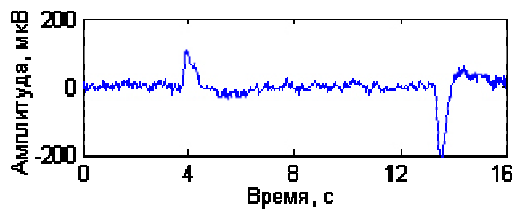


Рис. 3. Исходный сигнал ЭЭГ

Результат вейвлет-преобразования приведен на рис. 4 и рис. 5. Декомпозиция проводилась до уровня 8.

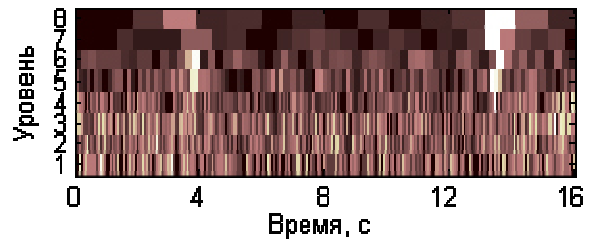


Рис. 4. Скейлограмма сигнала

На скейлограмме можно наблюдать белые отметки, соответствующие высоким значениям коэффициентов разложения. Значения смещения масштабированного вейвлета, для которых они получены, отвечают расположению ЭОГ в исходном сигнале ЭЭГ.

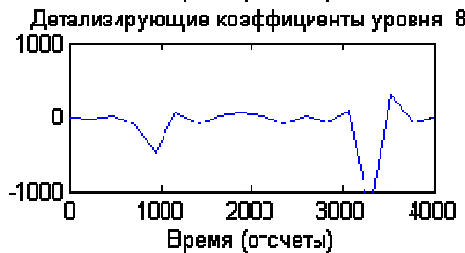
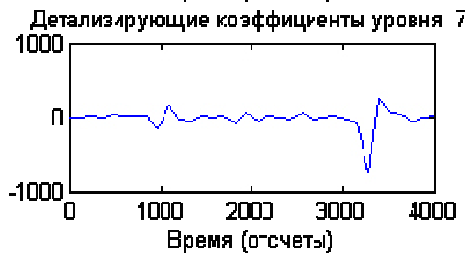
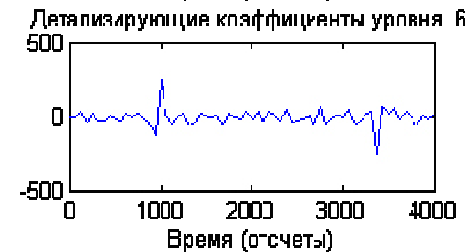
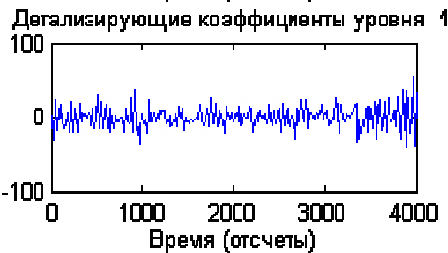
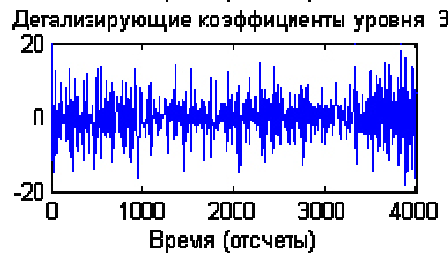
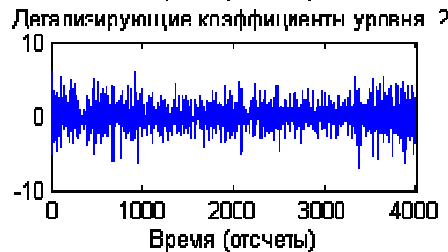
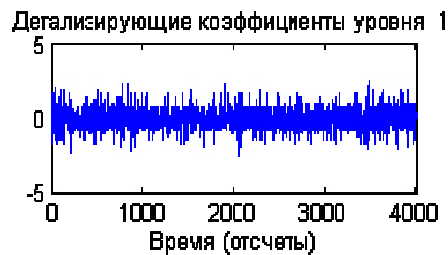


Рис. 5. Детализирующие коэффициенты ДВП

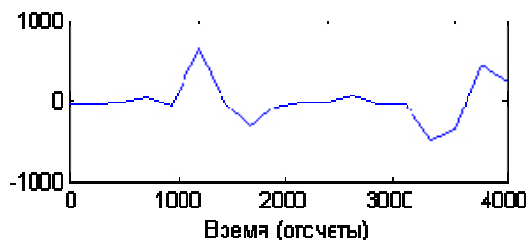


Рис. 6. Аппроксимирующие коэффициенты ДВП 8-го уровня разложения

Как можно видеть на рис. 5 и рис. 6 детализирующие коэффициенты разложения на уровнях 5-8 и аппроксимирующие коэффициенты на уровне 8, соответствующие положению ЭОГ в сигнале, принимают большие значения.

На рис. 7 показан восстановленный сигнал ЭЭГ после удаления артефактов.

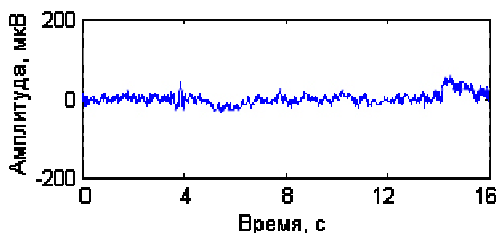


Рис. 7. Восстановленный сигнал

### 3. Экспериментальные результаты

Эксперимент проводился на базе отделения функциональной диагностики Института нейрохирургии им. акад. А.П. Ромоданова. Для снятия ЭЭГ использовался компьютерный электроэнцефалограф с частотой дискретизации 256 Гц и схемой отведений с физическим референтным электродом. В ходе работы был проделан эксперимент на запись продолжительностью 510 с пациента с очагом правой височной доли симптоматической эпилепсией. Данный сигнал был проанализирован доктором-экспертом, который выделил 122 артефакта движения глаз и моргания, из которых 66 грубых, 36 средних и 20 слабых. Далее к сигналу был применен предложенный метод удаления артефактов. В результате, были выявлены все грубые артефакты, 34 средних и 15 слабых артефактов. На рис.8 приведено несколько необнаруженных артефактов. Они представляют собой сигнал с частотой 0,5-1 Гц, который может быть удален повышением нижнего порога частоты пропускания при снятии или анализе ЭЭГ без ущерба для полезного сигнала. Для исключения таких артефактов в автоматическом режиме в дальнейшем возможно увеличение количества анализируемых уровней, получаемых в результате ДВП.

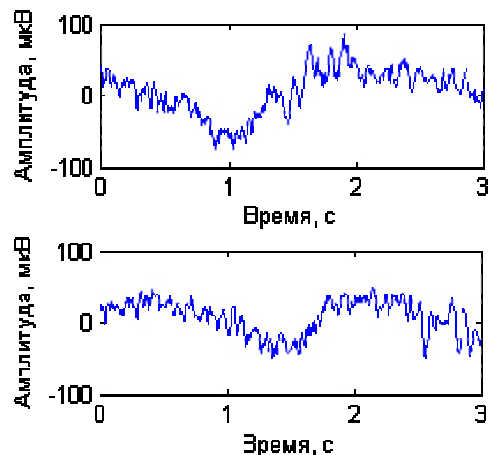


Рис. 8. Примеры необнаруженных артефактов

Таким образом, метод удаления ЭОГ, основанный на дискретном вейвлет-преобразовании сигнала ЭЭГ, позволяет достаточно хорошо выделять артефакты и восстанавливать очищенный сигнал ЭЭГ.

### Выводы

В работе предложен метод выявления ЭОГ и восстановления сигнала ЭЭГ после их удаления на основании дискретного вейвлет-преобразования. Результаты экспериментов показали работоспособность данного подхода при обнаружении ЭОГ на реальных сигналах.

Дальнейшая работа будет направлена на исследование методов определения пороговых значений коэффициентов вейвлет-преобразования. Результаты работы планируется использовать при построении автоматизированной системы очистки сигнала ЭЭГ от физических и биологических артефактов.

### Литература

1. *Зенков Л.Р.* Клиническая электроэнцефалография с элементами эпилептологии. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 1996 – 358 с.
2. *Gratton. G, Coles M.G., Donchin E.* A new method for off-line removal of ocular artifact // *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology.* – 1983. – vol. 55, № 4. – P. 468-484.
3. *Woestengurg J.C., Verbaten M.N., Slanzen J.L.* The removal of the eye movement artifact from the EEG by regression analysis in the frequency domain // *Biological Physiology.* – 1982. – № 16. – P. 127-147.
4. *Lagerlund T.D., Sharbrough F.W., Busacker N.E.* Spatial filtering of multichannel electroencephalographic recordings through principal component analysis by singular value de-

- composition // *Clinical Neurophysiology*. – 1997. – vol. 14, № 1. – P. 73 – 82.
5. *Delorme A., Makeig S., Sejnowski T.* Automatic artifact rejection for EEG data using high-order statistics and independent component analysis // *Proceedings of the Third International ICA Conference*. – 2001. – P. 9-12.
  6. *Comon P.* Independent Component Analysis, A new concept // *Signal Processing*. – 1994. – vol. 36, № 3. – P. 287-314.
  7. *Аль-Касасбек Р.Т., Шамасина М.С., Скопин Д.Е.* Автоматическое обнаружение артефактов в электроэнцефалографическом сигнале // *Медицинская техника*. – 2008. – № 6. – С. 19-26.
  8. *Абдуллаев Н.Т., Дышин О.А., Самедова Х.З.* Применение нейронных сетей для выявления артефактов электроэнцефалографического сигнала, представленного вейвлет-пакетным отображением // *Медицинская техника*. – 2009. – №4. – С. 42-46.
  9. *Krishnaveni V., Jayaraman S., Aravind S., Hariharasudhan V., Ramadoss K.* Automatic Identification and Removal of Ocular Artifacts from EEG using Wavelet Transform // *Measurement Science Review*. – vol. 6, sec. 2, № 4. – 2006. – P. 45-57.
  10. *Добеши И.* Десять лекций по вейвлетам. – Ижевск: НИЦ Регулярная и хаотическая динамика, 2001. – 464 с.

*Национальный технический университет Украины  
«Киевский политехнический институт»*