
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ УКРАИНЫ
"КИЕВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ"

Електроніка і зв'язь

Електроніка та зв'язок
Electronics and Communications

Научно-технический журнал
Основан в 1995 году

Тематический выпуск «Электроника и нанотехнологии»

4(63) • 2011



Электроника и связь

Научно-технический журнал
Свидетельство о регистрации КВ № 9314 от 03.11.2004 г.

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

Ю. И. Якименко, д-р техн. наук, проф., акад. НАН Украины

ЗАМЕСТИТЕЛИ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА

А. В. Кириленко, д-р техн. наук, проф., акад. НАН Украины

В. Я. Жуйков, д-р техн. наук, проф.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

В. Г. Абакумов, д-р техн. наук, проф.

В. М. Безрук, д-р техн. наук, проф.

А. В. Борисов, канд. техн. наук, проф.

А. Ф. Буткевич, д-р техн. наук, проф.

В. Г. Вербицкий, д-р техн. наук, с. н. с.

А. Г. Власюк, д-р техн. наук, проф.

Г. С. Воробьев, д-р физ.-мат. наук, проф.

С. В. Денбновецкий, д-р техн. наук, проф.

В. С. Дидковский, д-р техн. наук, проф.

Ю. М. Калниболотский, д-р техн. наук, проф.

К. В. Ковальчук, канд. физ.-мат. наук

П. П. Лошицкий, д-р техн. наук, проф.

А. Н. Лысенко, д-р техн. наук, доц.

В. Ф. Мачулин, д-р физ.-мат. наук, проф., акад. НАН Украины

О. Н. Петрищев, д-р техн. наук, проф.

В. В. Пилинский, канд. техн. наук, проф.

Л. Д. Писаренко, д-р техн. наук, проф.

Ю. М. Поплавко, д-р физ.-мат. наук, проф.

И. Н. Пустинский, д-р техн. наук, проф.

П. Г. Стахив, д-р техн. наук, проф.

Р. Стржелецкий, проф.

В. И. Тимофеев, д-р техн. наук, проф.

Г. И. Чурюмов, д-р техн. наук, проф.

С. А. Харитонов, д-р техн. наук, проф.

Ю. С. Ямненко, д-р техн. наук, проф.

В. П. Яценко, д-р мед. наук, проф.

ОТВЕТСТВЕННЫЙ ЗА ВЫПУСК

В. И. Тимофеев, д-р техн. наук, проф.

ОТВЕТСТВЕННЫЙ РЕДАКТОР

А. В. Коржик, канд. техн. наук, доц.

*Рекомендовано к печати Ученым советом ФЭЛ НТУУ «КПИ»
(Протокол № 03/11 от 28.03.11)*

Адрес редакции:

03056, г. Киев-56, ул. Политехническая, 16, корпус 12, к. 116

Тел. +38(044)454-94-39, e-mail: journal_el_com@fel.ntu-kpi.kiev.ua

ISSN 1811-4512

© Национальный технический университет
Украины «КПИ», 2011



Содержание

Наноструктуры и нанотехнологии в электронике

<i>О.В. Мачулянський, М.В. Родіонова, В.В. Пілінський, В.Б. Швайченко</i>	Застосування наноподібних структур для розв'язку задач забезпечення електромагнітної сумісності	6
<i>В.А. Бахов, А.С. Мазинев, Е.А. Наздеркин, Л.Д. Писаренко</i>	Влияние структурной неоднородности на проводимость полупроводниковых материалов	11
<i>С.В. Бондарец, С.Ю. Быковский, И.Е. Марончук, И.И. Марончук, А.Н. Петраш, С.Б. Смирнов, Д.Д. Санникович</i>	Наногетерозпитаксиальные структуры с квантовыми точками, полученные методом жидкофазной эпитаксии на основе GaP	15
<i>Т.П. Дьячкова, А.В. Мележик, А.Г. Ткачев, Е.Ю. Филатова</i>	Углеродные нанотрубки и их композиты с полианилином: перспективы применения	21
<i>О.Д. Вольпян, А.И. Кузьмичёв</i>	Наноразмерные электронно-фотонные устройства на основе локализованных плазмонов	26
<i>К.В. Кутний</i>	Наноструктурные материалы на основе чистого титана и биорастворимого магниевое сплава для создания хирургических имплантатов	31
<i>В.И. Слюсар, Д.В. Слюсар</i>	Концепция конструктивного исполнения наноантенных решеток в составе наносхем беспроводных сетей <i>ti</i> mo на кристалле	37
<i>В.И. Глотов, П.В. Деминский, Н.О. Ляхова, И.В. Масол, В.И. Осинский</i>	Кластерная модель образования нитрида алюминия в нанореакторах оксида алюминия	40

Твердотельная электроника

<i>Т.Ю. Білик</i>	Фотолюмінісценція шарів пористого кремнію отриманих хімічним способом	45
<i>А.Ю. Романов, Д.А. Феськов</i>	Разработка программного симулятора сетей на кристалле	48
<i>Б.Б. Працюк, Ю.В. Прокопенко, К.Г. Савин, П.Ю. Сергиенко</i>	Перестраиваемые фильтры СВЧ на основе микрополосковой линии	53
<i>М.Г. Душейко, Н.В. Максимчук, В.О. Ульянова</i>	Мікроелектронні амперометричні сенсори для біохімічних досліджень	57
<i>Л.Н. Королевич, А.В. Борисов, М.К. Родионов</i>	Феноменология физико-геометрического описания понятия кристаллической решетки	62

Теория сигналов и систем

<i>V.Sh. Melikyan, A.A. Durgaryan, H.P. Petrosyan, A.G. Stepanyan</i>	Power Efficient, Low Noise 2-5 GHz Phase Locked Loop	66
<i>Т.В. Бодня, В.П. Зубарь, А.С. Чайкоеский</i>	Инверторы импеданса в LC-генераторах гармонических колебаний	72

Методы и средства обработки сигналов и изображений

<i>Т.А. Терещенко, Д.В. Лазарев</i>	Применение обобщенного спектрального преобразования в ориентированном базисе в системах CDMA	79
<i>В.Г. Абакумов, О.Ю. Ломакина, О.Б. Яровенко</i>	Застосування жестів рук при людино-машинному інтерфейсі	83

Электронные системы

В.Я. Жуйков, Н.Н. Кузнецов	Анализ передаточных функций трансформатора с использованием метода гармонического баланса.....	87
В.С. Таран, С.П. Губарев, М.И. Золототрубова, В.В. Красный, Г.П. Опалева	Программно - аппаратный комплекс для диагностики озонных стерилизаторов.....	93
А.О. Комаров, А.В. Рыбка, С.А. Соколов, И.Н. Шляхов Ю.В. Руденко, Т.В. Руденко	Электроника для обработки сигнала полупроводникового детектора ядерных излучений на основе соединения CdZnTe ... Динамика процессов в высоковольтном источнике питания, работающем на технологическую нагрузку	97 103
Е.С. Пичкальов, Т.О. Терещенко, Ю.С. Ямненко	Економічний аспект споживання електроенергії в енергетичній системі мікрогрід	109
О.М. Казєкін, Е.С. Пичкальов	Керування дизельними генераторами на базі електровартісної моделі	113
А.О. Дем`яненко, О.В. Невмержицький, Ю.В. Хохлов, Ю.С. Ямненко	Система комбінованого керування електротехнічними пристроями	118
G.W. Катерман	Recent development of 3D focal plane arrays.....	122

Биомедицинские приборы и системы

А.М. Канайкин, А.А. Попов, К.А. Рощина, О.Р. Чертов, В.А. Шашков	Обнаружение артефактов в сигнале электроэнцефалограммы с помощью вейвлет-преобразования.....	126
Л.Г. Розенфельд, Ю.П. Дехтярев, С.А. Мироненко, Е.Ф. Венгер, В.И. Дунаевский, В.И. Котовский, Е.И. Латенко, С.С. Назарчук, Е. А. Соловьев	Тепловизионная диагностика в оценке состояния здоровья молодежи в возрасте от 16 до 25 лет	131
М. Делавар-Касмаи, И.А. Запорожко, В.И. Зубчук, А.Г. Комар, В.В. Шлыков	Анализ эффектов последствия при терапевтическом воздействии магнитным полем.....	137
М.М. Баран, Р.В. Бубнов, Т.О. Войцеховская, Л.С. Гнатюк, В.И. Зубчук, Имад Исса Джамиль Ирейфидж, Ю.С. Синекон	Исследование влияния низкочастотных магнитных полей на биологические объекты	144
Е.А. Тараненко, В.В. Кузьмук, А.С. Коваленко, Е.Г. Филюнова, Б.М. Єремєєв	Алгоритмическое описание и моделирование взаимодействия параллельных процессов в аппарате для частотно-резонансного воздействия.....	149

Акустические приборы и системы

О.Н. Петрищев, Т.А.Рябуш, А.П.Шпинь	Особенности интерпретации дисперсионного уравнения Рэлея-Лэмба в среде matlab	153
В.С. Дидковский, С.А. Лунева, В.П. Заец	Направленные свойства изогнутых линейных массивов излучателей звука.....	159

Системы телекоммуникации, связи и защиты информации

А.И. Коваленко, А.Б. Карпович, Б.Н. Шелковников	Некоторые особенности проектирования сетей технологии LTE	164
А.В. Івашук, Т.М. Наритник, О.І. Сахневич, Ю.І. Якименко	Особливості активних автономних ретрансляторів для синхронних мереж телемовлення стандарту DVB - T	168
S. Khotiaintsev, A.N. Castro-Martinez	Thermal treatment of silica optical fibers with CO ₂ -laser radiation ..	172
М.О. Алексєєв, Л.С. Глоба, К.О. Єрмаков, В.В. Кушнір	Застосування паралельних обчислень при розрахунку якості обслуговування черг заявок	177
С.М.Веретюк, А.О. Довженко, В.В. Пілінський, В.Б. Швайченко	Особливості мікропроцесорного керування параметрами дроселя протизавадового фільтра для керування характеристиками загасання в смузї частот 3..5 декад	182

<i>В.В. Пилинский, В.А. Попов, Шахрияр Шалилех</i>	О классификации электромагнитных помех преобразователей электроэнергии	187
--	--	-----

Системы автоматизированного проектирования

<i>K. Nemesh, V. Kazmirenko</i>	Computer aided analysis and design of broadband electromagnetic absorbers	193
---------------------------------	---	-----

Проблемы подготовки специалистов

<i>О.О. Абакумова, В.О. Білецький</i>	Система адаптивного тестування Student's Adapt	196
<i>О.П. Мінцер</i>	Сучасні методи підготовки спеціалістів з нанотехнологій	203

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.

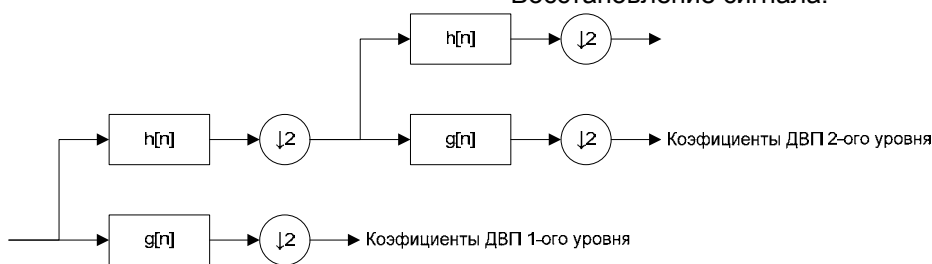


Рис. 1. Схема вейвлет-анализа ($g(z)$ – фильтр высоких частот, $h(z)$ – фильтр нижних частот, $\downarrow 2$ – «двоичное прореживание», т.е. понижение частоты отсчетов в два раза)

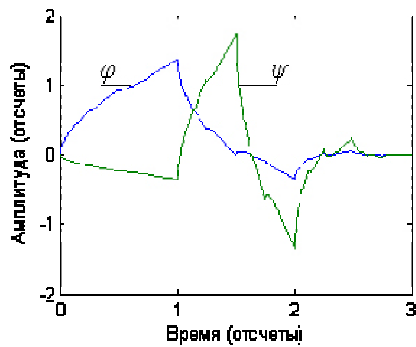


Рис. 2. Вейвлет Добеши второго порядка (ψ – материнская функция, ϕ – масштабирующая функция)

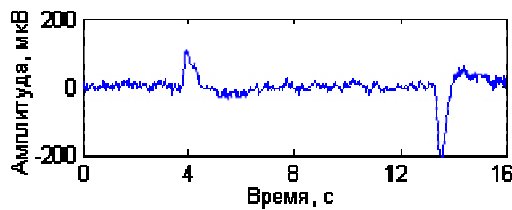


Рис. 3. Исходный сигнал ЭЭГ

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

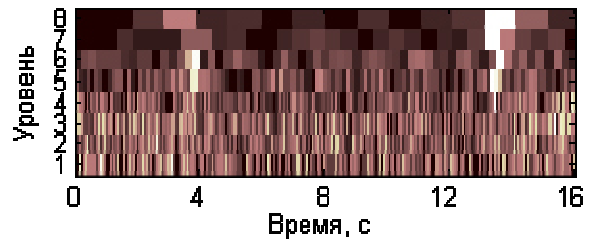


Рис. 4. Скейлограмма сигнала

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.

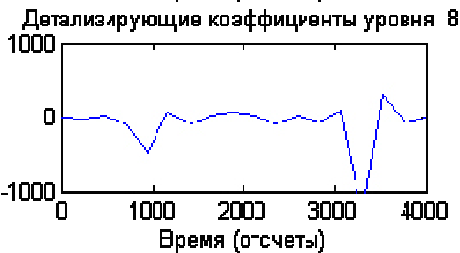
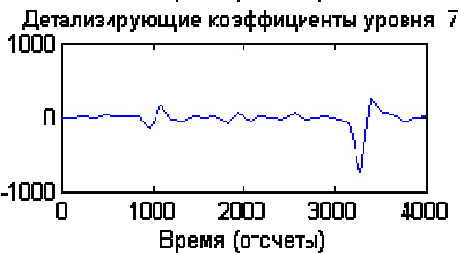
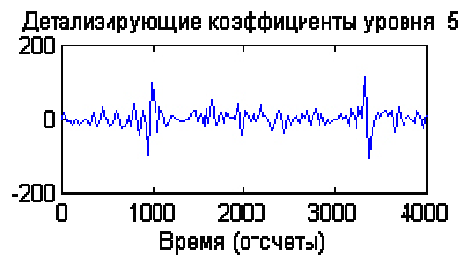
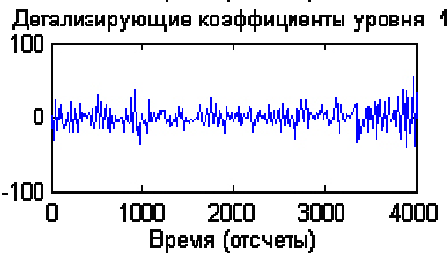
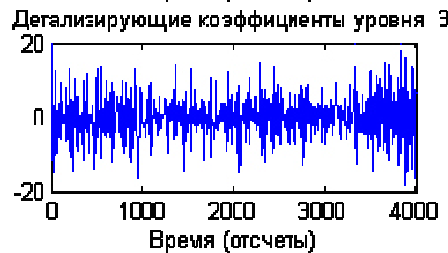
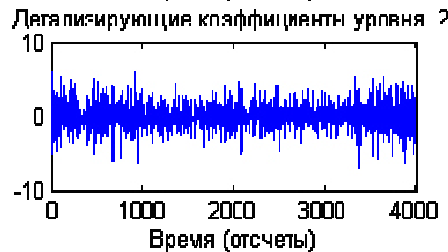
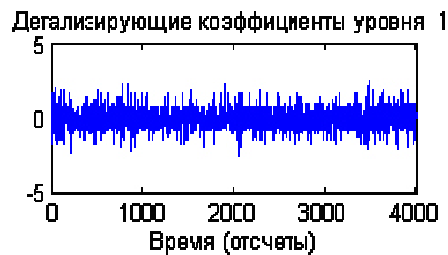


Рис. 5. Детализирующие коэффициенты ДВП

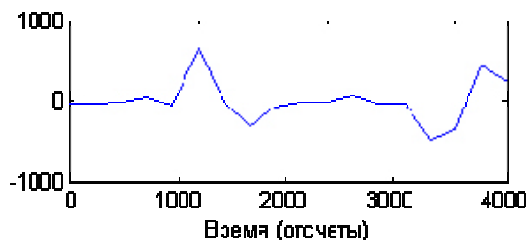


Рис. 6. Аппроксимирующие коэффициенты ДВП 8-го уровня разложения

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.

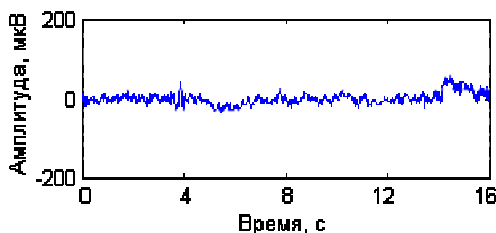


Рис. 7. Восстановленный сигнал

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.

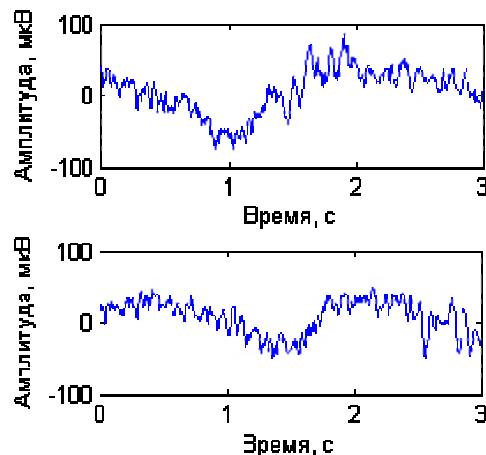


Рис. 8. Примеры необнаруженных артефактов

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.П.* 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. *Добешу И.* Десять лекций по вейвлетам. – Ижевск: НИЦ Регулярная и хаотическая динамика, 2001. – 464 с.

*Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт»*