

**МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ АНАЛИЗА СИГНАЛОВ, СНЯТЫХ  
С КОРЫ ГОЛОВНОГО МОЗГА ЧЕЛОВЕКА, С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ  
МЕТОДОВ ДОБЕШИ И ХААРА**

А.С. Ягодкин<sup>1</sup>, В.А. Туинов<sup>1</sup>, В.В. Лавлинский<sup>1</sup>, Ю.Г. Табаков<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический  
университет имени Г.Ф. Морозова»

В статье приводятся результаты исследования сигналов, снятых с коры головного мозга человека, и представлены математические основы анализа с использованием методов Добеши и Хаара. Дается сравнительный анализ метода вейвлет-преобразования Добеши и Хаара, реализованного в MATLAB и разработанного с помощью языка программирования C++ в ходе исследования на примере записанного аудиосигнала с естественными помехами.

Ключевые слова: вейвлет-преобразование, программирование, низкочастотные сигналы, интеллектуальный тренажер, методы обработки данных.

**MATHEMATICAL BASIS FOR ANALYSING SIGNALS REMOVED  
FROM FROM THE HUMAN CEREBRAL CORTEX USING DOBESHI  
AND HAAR METHODS**

A.S. Yagodkin<sup>1</sup>, V.A. Tuinov<sup>1</sup>, V.V. Lavlinskiy<sup>1</sup>, Yu.G. Tabakov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

The article presents the results of the study of signals taken from the human cerebral cortex, and presents the mathematical foundations of analysis using the methods of Daubechy and Haar. A comparative analysis of the method of the Daubechy and Haar wavelet transform implemented in MATLAB and developed using the C++ programming language in the course of the study on the example of a recorded audio signal with natural interference is given.

Keywords: wavelet transform, programming, low-frequency signals, intelligent simulator, data processing methods.

Для анализа и проверки возможности вейвлет-преобразования был взят аудиосигнал, записанный с микрофона и имеющий следующие параметры: частота дискретизации 44.1 кГц, 16 бит, моно. Запись содержала следующую фразу: «Идет запись».

Для проверки корректности и сравнения рассчитанного алгоритма вейвлет Добеши, сигнал был записан двумя программами. Первая популярная и функциональная звуколюбительская программа Sony Sound Forge, вторая записанная с помощью программы на языке C++ и созданная в процессе исследования. Сам результат представления записанного сигнала имеет следующий вид (рисунки 1 и 2).

На графиках в начале и конце четко видна синусоида, которая моделирует сигнал помехами (шумом).

На рисунке 2 представлен анализ стереосигнала (красный и зеленый графики), а желтым обозначена обработка сигнала в реальном режиме времени вейвлетом Добеши, а также с помощью разработанной программы наложена на исходный сигнал.

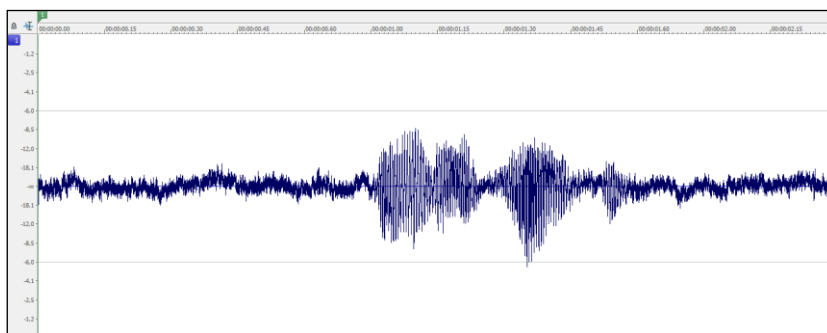


Рисунок 1 – Sony Sound Forge

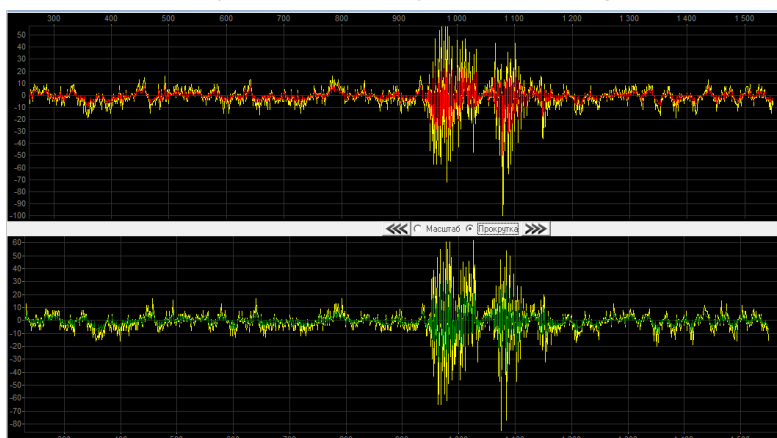


Рисунок 2 – Программа на языке C++ (стереосигнал)

Для построения начального уровня вейвлета Добеши по полученному сигналу был применен «отцовский вейвлет» [1]:

$$\varphi(t) = \sqrt{2} \sum_k^{2^M-1} h_k \varphi(2t - k) \quad (1)$$

По упрощенной формуле

$$c_k = \sqrt{2}h_i \quad (2)$$

Само вейвлет-преобразование Добеши выглядит следующим образом:

$$\psi(t) = \sqrt{2} \sum_k^{2^M-1} g_k \varphi(2t - k) \quad (3)$$

Для получения сигнала из буфера звуковой карты pHdr в программе используется массив lpData[ ], в котором хранятся полученные значения.

Чтобы полученные значения были пригодны для дальнейшей обработки, предлагается их преобразовывать в 8 и 16 битный звук:

```
(long) ((signed short) pHdr->lpData[n]); //16 бит
```

```
(long) ((unsigned char) pHdr->lpData[n]) - 128; //8 бит
```

Значение «n» берется из длины буфера записи звука, которая рассчитывается по произведению Частота\*Биты\*Моно(Стерео)\*Время. Для буфера выделяется память с помощью функции malloc(), которая хранит в себе строковые переменные и при необходимости очищать память:

```
(char*)malloc(BufferSize).
```

При работе с большим количеством данных используется переменная long. Для 16 бит используется преобразование signed short, т.е. от 0 до 65535, а для 8 бит unsigned char, соответственно от 0 до 255.

Эти полученные данные являются амплитудой или нормировкой  $h_i$ , коэффициент которой равен  $i=2^{bit}$ ,  $bit=8.16$ .

Сумма  $\sum_k^{2^M-1}$  в данном расчете равна 10. Чем выше значение, тем «чувствительнее» становится вейвлет и таким образом сильнее улавливает изменение различных сигналов, в данном случае помехи и шумы. Оптимальное значение, без использования фильтров, является диапазон от 10 до 30.

Полученный сигнал был обработан вейвлет - преобразованием Добеши в MATLAB и в дальнейшем проведён анализ на основе разработанной программы на C++. Так в MATLAB при увеличении уровня преобразования получают следующие зависимости (рисунки 3 и 4), показывающие о переходе Вейвлет Добеши в вейвлет Хаара. Это говорит о том, что имеются сильные искажения при анализе подобного рода сигналов, так как теоретически этого не должно быть из-за их совершенно разных алгоритмов.

Исследования показали, что оптимальным уровнем вейвлета Добеши в MATLAB, в котором нет искажения (перехода в вейвлет Хаар) является уровень 5, представленный на рисунке 5.

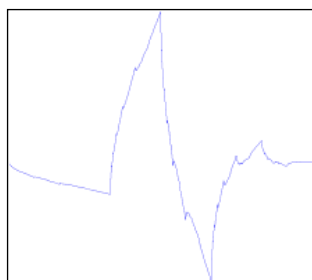


Рисунок 3 – Вейвлет Добеши

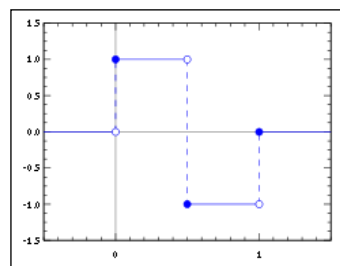


Рисунок 4 – Вейвлет Хаара

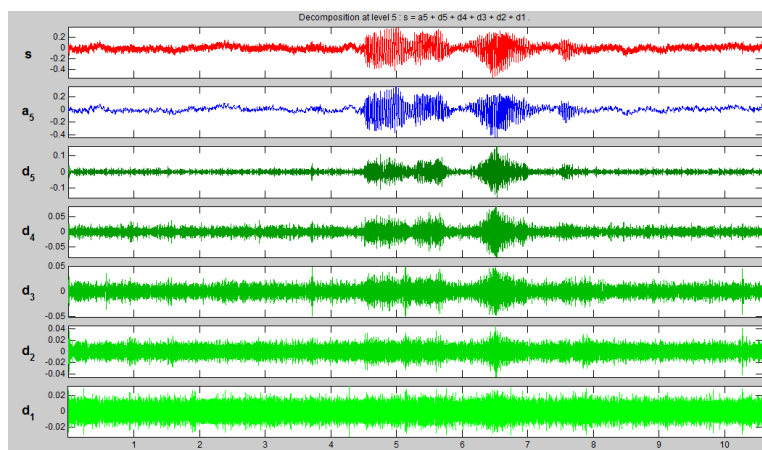


Рисунок 5 – Вейвлет Добеши в MATLAB с оптимальным уровнем 5

При увеличении уровня свыше 5 идет переход, где при уровне 9 вейвлет Добеши превращается в вейвлет Хаара (рисунок 6).

По теории вейвлет-преобразования с уровня  $d_1$  по  $a_{12}$  должен определяться как вейвлет Добеши, однако, исходя из полученных графиков видно, что уже начиная с уровня  $d_8$  имеются все признаки вейвлет-преобразования Хаара.

Для дальнейшего анализа был принят оптимальное значение уровня (уровня  $a_5$ ), в котором четко наблюдается вейвлет-преобразование Добеши над исходным сигналом (рисунок 7).

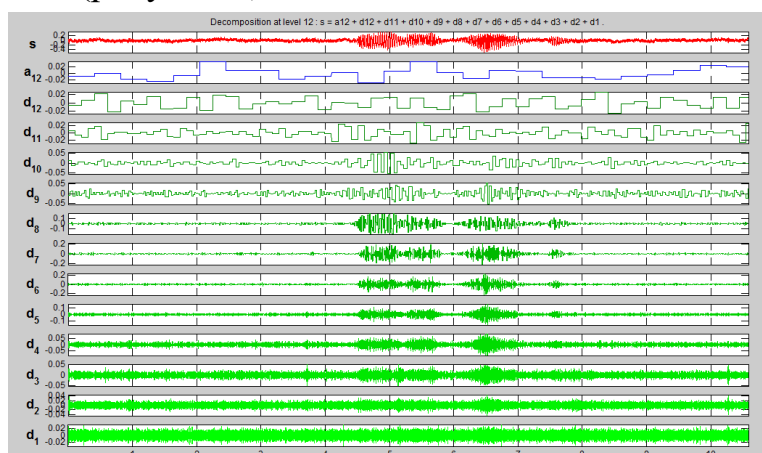


Рисунок 6 – Вейвлет Добеши в MATLAB (уровень 12)

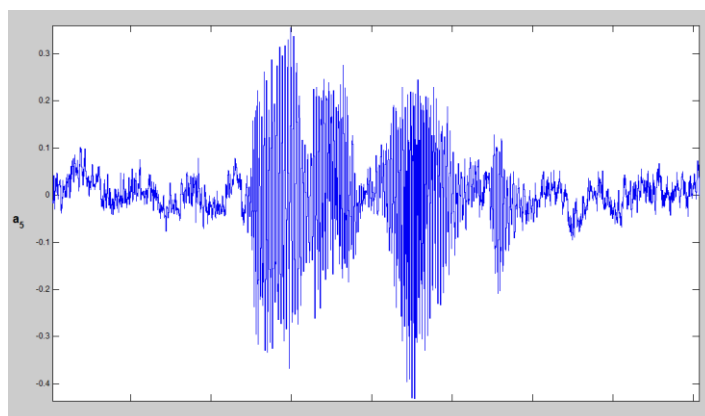


Рисунок 7 – Вейвлет Добеши в MATLAB с оптимальным 5 уровнем преобразования

Сравнивая два графика, представленных на рисунках 2 и 7, можно выделить два практически идентичных сигнала в виде двух активных сигналов. Эти активные сигналы в виде двух всплесков на графике характеризуют записанный звуковой сигнал с помощью разработанной программы на C++. Сравнительный анализ графического отображения сигнала представлен на рисунке 8.

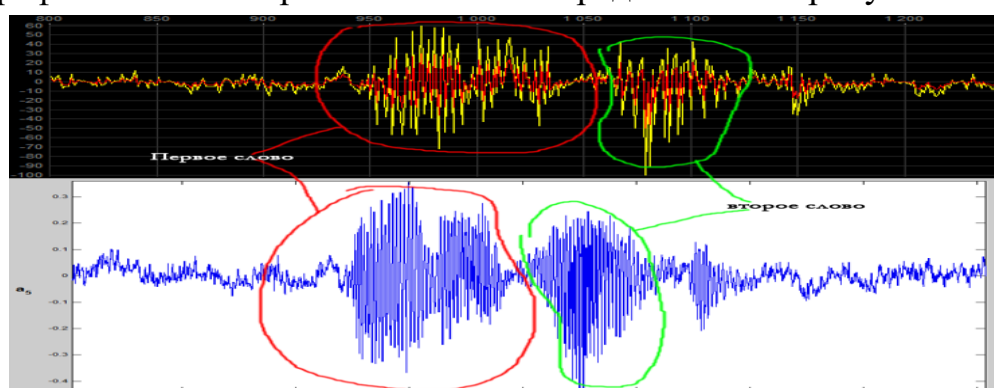


Рисунок 8 – Сравнительное изображение записанного сигнала с помощью разработанной программы на языке C++

Максимальные и минимальные пики на двух графиках почти одинаковые. На первом графике, они отфильтрованы и четкие, а на втором, более насыщены. Алгоритм вейвлет-преобразования Добеши, существенно повышает чувствительность методов вейвлет-преобразования Добеши к различному роду всплескам в самом сигнале, что можно увидеть на графике (рисунок 8 сверху).

Это особенно необходимо для анализа НЧ-сигналов, снимаемых с коры головного мозга, с целью выявления управляющих воздействий для подачи сигналов на интеллектуальный тренажёр по восстановлению опорно-двигательной системы человека.

Кроме того, результаты данного исследования показывают о необходимости фильтрации, направленной на более чёткое выявление составляющих сиг-

налов с коры головного мозга ( $\alpha$ ,  $\beta$  и т.п.) и фильтрации наиболее выраженных помех, поступающих при снятии сигналов.

Такой подход в дальнейшем позволит детализировать исследования по проектированию электронной компонентной базы для интеллектуальных тренажёров по восстановлению опорно-двигательной системы человека и позволит повысить эффективность выявления управляющих сигналов необходимых для такого тренажёра.

Разработанная в ходе данного исследования программная реализация на языке C++ позволяет более детально определять взаимосвязь между снимаемыми с коры головного мозга НЧ-сигналами и параметрами метода Добеши, управляя которыми имеется возможность формировать достоверные сигналы для управления интеллектуальным тренажёром по восстановлению опорно-двигательной системы человека.

Дальнейшее развитие программной реализации может быть направлено на обработку данных, поступающих через USB порт компьютера от датчиков снятия НЧ-сигналов с коры головного мозга, формирования управляющих сигналов и передачи сигналов управления опять через USB порт на интеллектуальный тренажёр по восстановлению опорно-двигательной системы человека [1-3].

#### Список литературы

1. Лавлинский, В.В. Математические зависимости формализации процедур проектирования МОП-транзисторов / В.В. Лавлинский, А.Л. Савченко // Моделирование систем и процессов. – 2018. – Т. 11, №1. – С. 21-26.
2. Юрьев, Н.Ю. Анализ эксперимента по созданию токопроводящих дорожек печатных плат / Н.Ю. Юрьев, В.В. Лавлинский, Н.С. Бокарева // Моделирование систем и процессов. – 2020 – Т. 13, № 2. – С. 77-84.
3. Жуков, В.М. Методология синтеза информационно-измерительной и управляющей системы с настраиваемой структурой и гибкими чувствительными элементами на примере фазированной решетки / В.М. Жуков, Д.Ю. Муромцев, В.В. Лавлинский // Моделирование систем и процессов. – 2020 – Т. 13, № 4. – С. 9-18.