

# Разработка защитного корпуса устройства для выполнения частотно-временного анализа сигналов в климатических условиях Антарктики

В. С. Грибанов, А. Б. Степанов\*

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций

им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

\*sabarticle@yandex.ru

**Аннотация.** Статья посвящена описанию основных принципов, используемых при разработке конструкции защитного корпуса устройства, предназначенного для выполнения частотно-временного анализа сигналов в климатических условиях Антарктики (при температуре до -90 градусов С). Описаны результаты испытаний этого корпуса в климатической камере.

**Ключевые слова:** защитный корпус; частотно-временной анализ сигналов; Антарктика; климатическая камера; вейвлет

## I. ВВЕДЕНИЕ

Данная работа посвящена описанию особенностей разработки защитного корпуса устройства, предназначенного для выполнения частотно-временного анализа сигналов при экстремально низких температурах Антарктики. Как известно, температура на станции «Восток» может достигать -90°C. Поэтому для обеспечения работы вычислительного модуля при таких экстремально низких температурах к защитному корпусу предъявляются следующие требования:

- обеспечение работы устройства при температуре в диапазоне от -90°C до +85°C;
- обеспечение защиты от пыли и влаги согласно международному стандарту уровня защиты IP66;
- обеспечение защиты от воздействия электромагнитного излучения;
- возможность обеспечения автономной работы устройства.

В связи с освоением территорий Антарктики, необходимостью проведения сейсмических исследований разработка данного корпуса для частотно-временного анализа сигналов является актуальной задачей.

Научная новизна работы заключается в разработке корпуса, обеспечивающего работу вычислителя непрерывного вейвлет-преобразования при сверхнизких температурах.

## II. НЕПРЕРЫВНОЕ ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЕ

Вейвлеты – это обобщенное название особых функций с нулевым интегральным значением, компактным носителем, способные к сдвигу и масштабированию [1, 2].

При обработке сигналов широкое распространение получили методы и алгоритмы на основе непрерывного вейвлет-преобразования (НВП) [3-6].

Формула непрерывного вейвлет-преобразования функции  $f(t)$  имеет вид:

$$W(a,b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt,$$

где  $\psi(t)$  – вейвлет,  $a$  – масштаб,  $b$  – сдвиг во времени.

Основное достоинство непрерывного вейвлет-преобразования заключается в возможности использования вейвлет-коэффициентов, полученных при его выполнении, при частотно-временном анализе сигналов.

Недостатком данного преобразования является его вычислительная избыточность.

Непрерывное вейвлет-преобразование применяется при анализе сигналов различной природы:

- биомедицинские сигналы;
- сейсмические сигналы;
- сигналы телеметрии.

## III. МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕПРЕРЫВНОГО ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

Моделирование алгоритмов вычисления непрерывного вейвлет-преобразования может выполняться в различных математических пакетах:

- MATLAB;
- GNU Octave;
- Mathcad.

В данной работе в качестве примера приведем вейвлет-спектрограмму, полученную в системе MATLAB. На рис. 1 представлена вейвлет-спектрограмма электроэнцефалограммы, полученная при использовании Wavelet ToolBox.

Электроэнцефалограмма – это сигнал, представляющий собой графическое отображение электрической активности отдельных групп нейронов отделов головного мозга человека [7, 8].

При анализе электроэнцефалограммы необходимо выявлять ее основные ритмы и графоэлементы особой формы, соответствующие патологическим составляющим и артефактам [9].

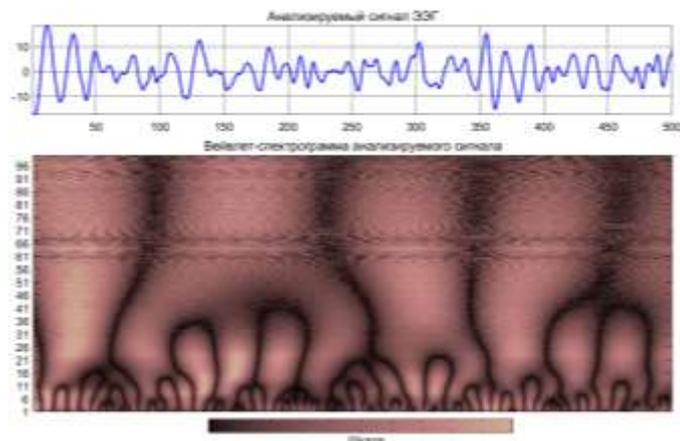


Рис. 1. Вейвлет-спектрограмма сигнала

Как видно из рисунка, вейвлет-спектрограмма позволяет выполнять локализацию информационных признаков в сигнале.

#### IV. РЕАЛИЗАЦИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЯ НВП

Реализация алгоритмов вычисления НВП может выполняться на различной элементной базе:

- на цифровых сигнальных процессорах (ЦСП) [10];
- на программируемых логических интегральных схемах (ПЛИС);
- на графических процессорах [11];
- на микроконтроллерах [12].

При выборе элементной базы разработчики должны руководствоваться следующими требованиями:

- частота дискретизации сигнала;
- число каналов сигнала (для многоканальных сигналов);
- необходимость выполнения алгоритма в реальном времени;
- условия эксплуатации устройства (требования по вибрационной устойчивости, температурному режиму);

- низкое энергопотребление (для портативных устройств).

#### V. РАЗРАБОТКА ЗАЩИТНОГО КОРПУСА

Рассмотрим две модификации защитного корпуса, разработанного авторским коллективом.

На рис. 2 представлена схема защитного корпуса вычислителя непрерывного вейвлет-преобразования, предназначенного для автономной работы при температурах от  $-60^{\circ}\text{C}$  до  $+85^{\circ}\text{C}$ .

Данный корпус может применяться в Арктическом регионе. Его особенностью является возможность использования в качестве элементной базы для вычислителя микроконтроллеров и цифровых сигнальных процессоров, предназначенные для работы при температурах от  $-40^{\circ}\text{C}$ .

Рассмотрим основные составляющие данного корпуса:

- Герметизированные кабельные вводы.
- Тумблерные переключатели.
- Светодиодная индикация.
- Многослойный термозащитный материал.
- Аккумуляторная батарея.
- Отладочная плата.
- Преобразователь напряжения.
- Нагревательный элемент.
- Температурное реле.

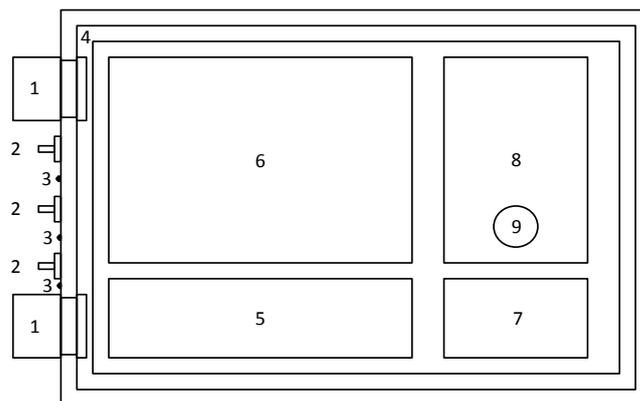


Рис. 2. Схема защитного корпуса, предназначенного для работы в условиях Арктики

Приведем основной принцип работы вычислителя непрерывного вейвлет-преобразования сигналов в составе защитного корпуса.

Герметизированные кабельные вводы используются для подключения источника сигнала, в качестве которого могут применяться датчики различных типов или персональный компьютер, а также для зарядки аккумуляторной батареи.

Тумблерные переключатели отвечают за подачу питания, включение обогревательного элемента и запуска вычисления непрерывного вейвлет-преобразования сигналов.

Для исключения дополнительных тепловых потерь было решено обеспечить ввод кабеля внутри многослойного утеплителя с противоположной стороны от герметизированных вводов.

В качестве источника питания применяется аккумуляторная батарея с выходным напряжением 5В.

От данного источника осуществляется питание отладочной платы вычислителя непрерывного вейвлет-преобразования сигналов и нагревательного элемента. Так как нагревательный элемент требует питание 12В, то для обеспечения его работы требуется применение преобразователя напряжения с 5В DC на 12В DC.

Для корректного управления нагревательным элементом используется температурное реле.

Испытания в климатической камере показали, что устройство в данном защитном корпусе может работать автономно в течение 101 минуты при температуре  $-60^{\circ}\text{C}$  [12].

Для обеспечения работы вычислителя непрерывного вейвлет-преобразования сигналов в климатических условиях Антарктики, где температура может опускаться до  $-90^{\circ}\text{C}$ , необходима разработка защитного корпуса с дополнительной термоизоляцией и использование элементной базы с эксплуатационными характеристиками при температуре от  $-60^{\circ}\text{C}$ .

На рис. 3 приведена схема размещения элементной базы в защитном корпусе, предназначенном для работы при температурах от  $-90^{\circ}\text{C}$  до  $+85^{\circ}\text{C}$ .

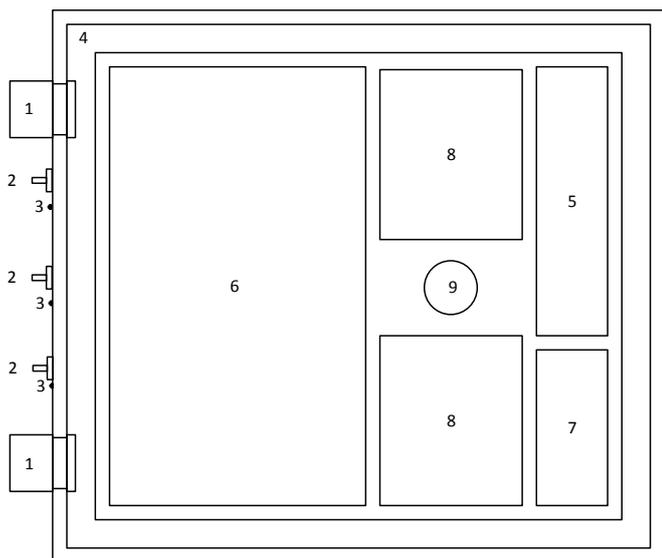


Рис. 3. Схема размещения элементной базы в защитном корпусе

Особенностью данного корпуса по сравнению с рассмотренным ранее является:

- Использование отечественных цифровых сигнальных процессоров или микроконтроллеров для реализации алгоритмов вычисления непрерывного вейвлет-преобразования сигналов, которые могут сохранять свою работоспособность при температуре  $-60^{\circ}\text{C}$ .
- Использование данных отладочных плат, как правило, имеет большие габаритные размеры, что влияет на требования к размерам защитного корпуса.
- Использование дополнительных слоев теплоизоляционного материала.
- Установка дополнительного нагревательного элемента.
- Для улучшенной температурной карты данного устройства нагревательные элементы устанавливаются на верхней и нижней частях корпуса и отделяются от остальных блоков радиаторами, распределяющими температуру по всей площади и обеспечивающие дополнительную защиту от перегрева основных элементов вычислителя непрерывного вейвлет-преобразования сигналов.

Данное устройство было проверено в климатической камере при температуре  $-60^{\circ}\text{C}$ , где оно проработало в течение 67 минут (среднее значение). Расчетное время работы устройства при температуре  $-90^{\circ}\text{C}$  составляет 36 минут. Проверка данных расчетов требует проведение экспериментов в климатической камере, позволяющей понижать температуру до  $-90^{\circ}\text{C}$ .

Проведение данных экспериментов планируется при дальнейших исследованиях.

## VI. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основными результатами в данной работе являются:

1. Разработано два прототипа защитных корпусов, предназначенных для работы вычислителей непрерывного вейвлет-преобразования сигналов при экстремально низких температурах.
2. Проведены испытания в климатической камере с понижением температуры до  $-60^{\circ}\text{C}$ .

Дальнейшие исследования предполагают проверку работоспособности устройства в защитном корпусе при температурах и давлении соответствующим условиям региона Антарктики.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Арбузов С.М., Степанов А.Б. Применение методов вейвлет-анализа в электроэнцефалографии. СПб.: Линк, 2009. 104 с.
- [2] Смоленцев Н.К. Основы теории вейвлетов. Вейвлеты в MATLAB. М.: ДМК Пресс, 2005. 304 с.
- [3] Blatter C. Wavelets – Eine Einführung. A.K. Peters, Ltd., 1998.

- [4] Stark H.-G. Wavelets and Signal Processing. Berlin : Springer, 2005.
- [5] Stepanov A.B. Wavelet Analysis of Compressed Biomedical Signals // 20th Conference of Open Innovations Association FRUCT. Proceedings, St. Petersburg, LETI University, 2017. pp. 434-440.
- [6] Витязев В.В. Вейвлет-анализ временных рядов. СПб.: Изд-во С.-Петербург. Ун-та, 2001. 58 с.
- [7] Зенков Л.Р., Ронкин М.А. Функциональная диагностика нервных болезней: руководство для врачей. М.: МЕДпресс-информ, 2011. 448 с.
- [8] Гнездицкий В.В. Обратная задача ЭЭГ и клиническая электроэнцефалография. МЕДпресс, 2004 г., 624 с.
- [9] Кропотов, Ю.Д. Количественная ЭЭГ, когнитивные вызванные потенциалы мозга человека и нейротерапия / Ю.Д. Кропотов: пер. с англ. Донецк: Изд. Заславский А.Ю., 2010. 512 с.
- [10] Zhuravov D.V., Stepanov A.B. Application of Simulink in the Implementation of Calculation Algorithms for Continuous Wavelet Transform on a Digital Signal Processor // Journal of Radio Electronics. 2019. vol. 5, pp. 12.
- [11] Kozlov D.V., Stepanov A.B. The Main Features of a Multichannel Continuous Wavelet Transform Implementation on the Nvidia Jetson Single Board Computers, IEEE Elconrus 2021, в печати.
- [12] Степанов А.Б., Помогалова А.В., Грибанов В.С., Богословский И.А., Айд Х.М.М. Применение микроконтроллеров при реализации вычислителя непрерывного вейвлет-преобразования, предназначенного для работы в условиях Арктики // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2020. Т. 16. № 2. С. 127-141.