

График относительной погрешности отображен на рис. 6.

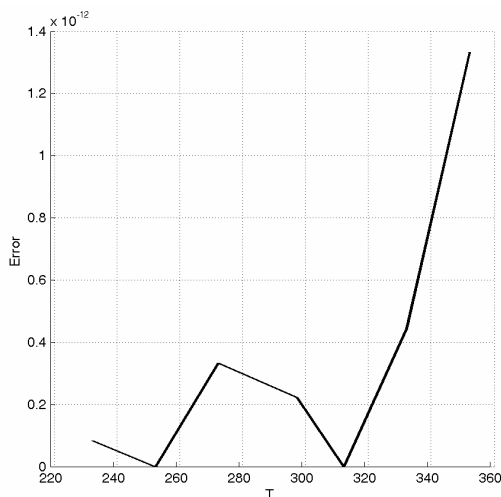


Рис.6. График относительной погрешности расчета напряжения температуры

Согласно результатам моделирования отображенных на рис. 6, максимальная величина относительной погрешности равна  $1,3323 \cdot 10^{-12}\%$ , что удовлетворяет поставленной задаче на  $0,1\%$ .

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Клевцов С.И., Линьков В.С., Веретельников Ю.А., Кузьминов В.Г. Погрешности вычисления давления в интеллектуальном датчике при матрично-полиномиальной аппроксимации его градуировочной характеристики // Известия ТРТУ. 2004. №2.
2. Семенов Л.А., Сирая Т.Н. Методы построения градуировочных характеристик средств измерений. – М.: Изд-во стандартов, 1986.
3. Клевцов С.И., Удод Е.В. Пространственная плоскостная модель градуировочной характеристики интеллектуального датчика давления // Известия ТРТУ. 2005. №1.

Е.С.Синютин

#### ВЫБОР ВЕЙВЛЕТ-ФУНКЦИИ ДЛЯ ОПТИМАЛЬНОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ЭКГ-СИГНАЛА

Рассмотрим возможность построения «собственной» вейвлет-функции, наиболее оптимально подходящей для экономного представления данной ЭКГ. Задача состоит в преобразовании отрезка ЭКГ с усредненным QRS комплексом в функцию  $\Psi_0(t)$ , которая является базисом вейвлет-преобразования.

Рассмотрим требования, которым должна удовлетворять функция  $\Psi_0(t)$ .

Вообще говоря, в литературе не существует единого определения вейвлет-функций, но основным требованием является локализация во времени и в частотной области.

Локализация вейвлет-функций во времени подразумевает наличие концентрации их энергии внутри некоторого финитного интервала, а также выполнение одного из законов их убывания [1]:

$$|t|^{-m}, \text{ где } m=\text{const};$$

(1)

более быстро убывающего, чем  $|t|^{-m}$ ;

экспоненциального  $e^{-\alpha|t|}$ , где  $\alpha > 0$ .

Частотная локализация вейвлет-функций говорит о компактности носителя их Фурье-образа, то есть локализации его энергии внутри определенного частотного интервала. Существует, таким образом, аналогия между вейвлет-функциями и фильтрами, полоса пропускания которых определяется степенью гладкости самих функций во временной области и наличием некоторого числа нулевых моментов:

$$\mu_{i,m} = \int t^i \psi_{j,m}(t) dt .$$

Наряду со свойством убывания по одному из упомянутых законов, вейвлет-функции должны удовлетворять следующим свойствам:

- ограниченность в пространстве  $L_2$ , или квадратичная интегрируемость

$$\int_{-\infty}^{\infty} |\psi(t)|^2 dt < \infty$$

это требование автоматически выполняется, если функции удовлетворяют какому-либо закону убывания (1-3);

- локализация, т.е. наличие компактного носителя как во временной, так и в частотной областях определения функции;
- нулевое среднее, т.е. равенство нулю нулевого момента (площади вейвлет-функции),

$$\mu_0 = \int_{-\infty}^{\infty} \psi(t) dt = 0 .$$

В ряде случаев оказывается необходимым наличие также равенства нулю момента  $i$ -го порядка, свидетельствующего о свойстве вейвлет-функций осуществлять анализ высокочастотной структуры сигнала, подавляя низкочастотные составляющие

$$\mu_i = \int_{-\infty}^{\infty} t^i \psi(t) dt = 0 . \quad (4)$$

Исходные данные представляют из себя функцию дискретного времени  $U(t)$ , которая в общем случае не может являться базисом преобразования из-за указанных выше ограничений, накладываемых на функцию

базиса. Удовлетворяются эти ограничения следующими последовательными преобразованиями:

- нулевое среднее обеспечивается путем вычитания из  $U(t)$  его среднего значения

$$\phi_1(t) = U(t) - \bar{U}(t);$$

- нормирование энергии

$$\phi_2(t) = \frac{\phi_1(t)}{\|\phi_1(t)\|_2},$$

где  $\|\phi_1(t)\|_2 = \sqrt{\int_0^T \phi_1(t) dt}$ ,  $T$  – время наблюдения;

- локализованность во времени

$$\phi_3(t) = \phi_2(t) \cdot e^{-\frac{(t-t_0)^2}{\tau}}.$$

где  $\tau$  – интервал времени убывания огибающей функции  $U(t)$  в  $e$  раз (e-folding time [4]). Локализованность по частоте обеспечивается автоматически тем, что спектр ЭКГ-сигнала сосредоточен в достаточно узкой полосе 0.5 – 70 Гц, а спектр QRS комплекса еще компактнее – 10-70 Гц.

Есть различные способы выбора положения нуля аргумента функции  $t_0$ . Наиболее простое решение – поместить в точку R-зубца. Если формы вейвлета и QRS-комплекса совпадают и за нуль аргумента принято положение максимума вейвлета, тогда временное положение максимума вейвлет-спектра будет совпадать с временным положением максимума амплитуды анализируемого сигнала.

Окончательно формула преобразования функции  $U(t)$  в базис может

быть записана в следующем виде  $\psi(t) = \frac{(U(t-t_0) - \bar{U}(t))}{\|U(t)\|_2} \cdot e^{-\frac{(t-t_0)^2}{\tau}}$ .

Вид синтезированных вейвлетов с разными масштабными коэффициентами показан на рис. 1.

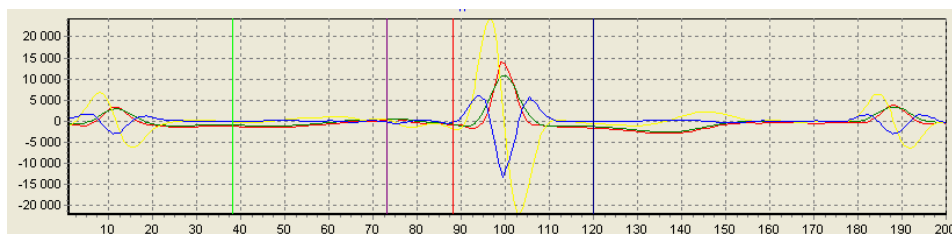


Рис. 1. Варианты синтезированных вейвлетов на базе QRS комплексов

Для сравнения качества представления сигнала были выбраны вейвлеты MORLET и МНАТ.

ЭКГ сигнал смешивался с нормальным шумом различной амплитуды. На основе анализа 1000 комплексов QRS для каждого уровня шума вычислены относительные погрешности. Результаты представлены табл. 1. Зависимость относительной погрешности от отношения с/ш для различных вейвлет-базисов.

Таблица 1

Базис	с/ш =100	с/ш =50	с/ш =20	с/ш =10	с/ш =4
На основе QRS комплекса	0.9 %	1.1 %	1.5 %	2.0 %	8.5 %
MORLET	1.2 %	2.3 %	3.6 %	6.7 %	18.3 %
МНАТ	1.6 %	3.1 %	4.9 %	7.8 %	22.5 %

Полученные значения погрешностей представления ЭКГ хорошо характеризует устойчивость применяемого метода к шумам различной амплитуды. Видно, что применение базисов на основе усредненного комплекса позволяет значительно снизить погрешность, вызываемую внешними артефактами.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Новиков Л.В. Адаптивный вейвлет-анализ сигналов. Научное приборостроение, 1999. Т.9. – №2.
2. [www.wavelet.org](http://www.wavelet.org)
3. Дремин И. М., Иванов О. В. Вейвлеты и их применение // Успехи физических наук. – 2001. – №5. – С. 465–501.
4. Torrence C., Compo G.P. A Practical Guide to Wavelet Analysis // Bulletin of the American Meteorological Society, 1998. – № 1. Vol. 79. P. 61–78.

**Е.С. Семенистая, О.Н. Подопрыголова, Н.С. Семунина**

#### **АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА-ОПЕРАТОРА**

Зарождение направления по изучению, оценке и обеспечению надежности деятельности человека-оператора во многом связано с ростом технического прогресса в обществе и сопровождающими его неблагоприятными последствиями в виде ошибочных действий и отказов техники, аварий, профессионального травматизма.

Содержание и направления развития этой проблемы определялись достижениями в области психологии, физиологии труда, инженерной психологии, эргономики, авиариологии и других научных дисциплин.