

## ЦИФРОВАЯ ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

Жаркова Д.О., Ващук К.В.; Маркова Л.В.

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

При разработке измерительных систем одной из актуальных задач является выделение информационного сигнала из исходного зарегистрированного сигнала, содержащего шум и помехи. В последние годы при обработке сигналов широко используется вейвлет-преобразование (ВП), разработанное для преодоления недостатка общепринятого метода удаления помех – оконного преобразования Фурье (ОПФ). Недостаток ОПФ заключается в том, что оно не позволяет анализировать с достаточной точностью одновременно высокочастотную и низкочастотную составляющие. ВП можно рассматривать как оконное преобразование с переменной шириной оконной функции. Вейвлет – это некоторая осциллирующая функция  $\psi(t)$  конечной длительности. Из одного базового вейвлета посредством его сдвига и растяжений по оси времени образуется семейство вейвлетов  $\psi_{j,k}(t)$  (оконных функций). В ВП используется также скейлинг-функция  $\varphi(t)$ , имеющая с вейвлетами общую область задания. В результате ВП сигнал представляется в виде разложения на составляющие в разных частотных диапазонах (разных уровнях  $j$ ) с использованием вейвлетов, порождающих коэффициенты детализации, и скейлинг-функций, порождающих коэффициенты аппроксимации. Малые уровни разложения  $j$  соответствуют высоким частотам, а большие – низким частотам. За счёт изменения уровня разложения вейвлеты способны выявлять особенности сигнала на разных частотах, а за счёт сдвига, характеризуемого параметром  $k$ , проанализировать свойства сигнала в разных точках на всём исследуемом временном интервале. Реконструкция сигнала выполняется обратным ВП [1, 2].

Цель представленной работы – на основе ВП выделить информационные импульсные сигналы из исходного сигнала измерительной системы.

Модель сигнала  $s(t)$  на выходе системы можно представить как сумму импульсных сигналов  $p_1(t)$  и  $p_2(t)$  (рис.1,а), высокочастотного шума  $e(t)$ , который вносится схемой регистрации сигнала, и вибрационной помехи  $v(t)$ , обусловленной вибрацией оборудования, на котором установлена измерительная система. При этом полагаем, что максимальная частота импульсного сигнала ниже частоты вибрации, т.е. полезный сигнал представляет собой низкочастотную составляющую. Предполагаем, что шум является дискретным белым шумом, т.е. последовательностью случайно изменяющихся со временем чисел в диапазоне  $[-0,5; 0,5]$ . Вибрационная помеха проявляется на двух частотах

$v(t) = 1,5 \cdot \sin(978\pi t) + 1,8 \cdot \sin(817\pi t)$ . Т.е. модельный исходный сигнал имеет вид (рис. 1,б):

$$s(t) = p_1 + p_2 + e(t) + 1,5 \cdot \sin(978\pi t) + 1,8 \cdot \sin(817\pi t). \quad (1)$$

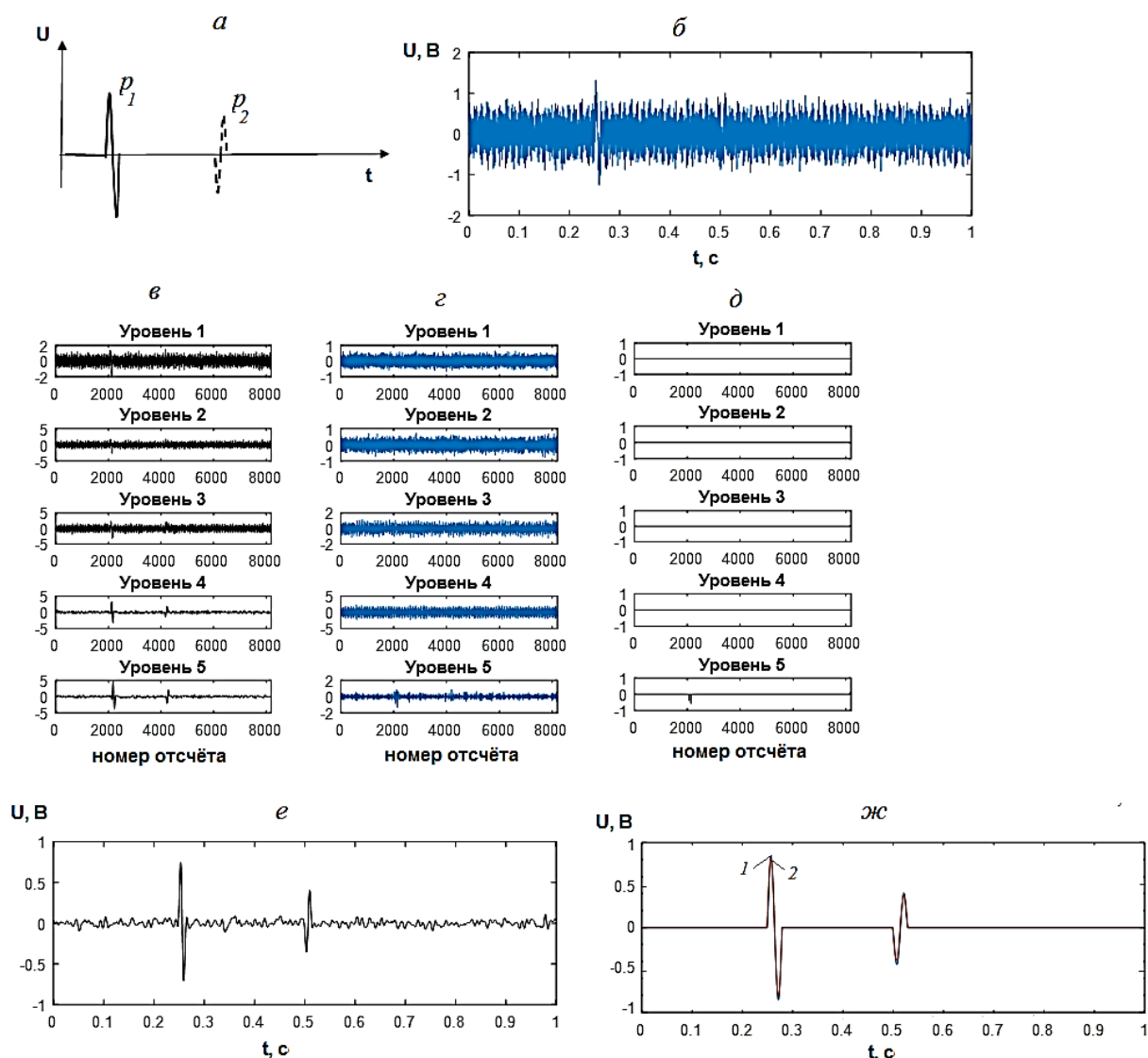


Рисунок 1 – Выделение информационного импульсного сигнала на основе дискретного стационарного вейвлет-преобразования

Для удаления шума и высокочастотной помехи разработан алгоритм обработки сигнала на основе дискретного стационарного вейвлет-преобразования (ДСВП). На рис.1 показаны результаты обработки модельного сигнала с помощью предложенного алгоритма, реализованного в среде MATLAB.

Алгоритм обработки сигнала состоит в следующем. Первоначально выполняется оценка параметров информационных импульсов, параметров вибрационных помех и шума. Вторым этапом алгоритма является одна из важнейших задач – выбор вейвлета. Предпочтительно, чтобы форма вейвлета была близка по форме к импульсному сигналу. Таким вейвлетом

является в нашем случае ортогональный вейвлет с компактным носителем – вейвлет Добеши. Следующий этап – задание числа уровней разложения  $J$ , которое определяется частотным спектром информационных импульсов. Выбрав тип вейвлета и задав глубину декомпозиции, выполняется декомпозиция сигнала на основе ДСВП, в результате чего получаем коэффициенты аппроксимации (рис.1,в) и детализации (рис.1,г) на каждом уровне разложения. Далее реализуется процедура шумоподавления, которая основана на ограничении значений коэффициентов детализации каждого  $j$ -того уровня декомпозиции (рис.1д) в соответствии с порогами ограничения  $T_j$  определяемыми по формуле

$$T_j = \sigma_j \sqrt{2 \ln N}, \quad (2)$$

где  $N$  – число отсчетов сигнала,  $\sigma_j$  – среднее квадратическое отклонение коэффициентов детализации  $j$ -того уровня декомпозиции.

Следующая операция – восстановление сигнала (рис.1,е) на основе обратного стационарного ВП, используя модифицированные коэффициенты детализации и неизменные коэффициенты аппроксимации всех уровней от 1 до  $J$ . Затем из реконструированного сигнала выделяются информационные импульсы на основе априорной информации о минимальной  $T_{min}$  и максимальной  $T_{max}$  длительности импульсов. Выделяются только те импульсы, длительность которых попадает в интервал  $[T_{min}, T_{max}]$  и максимальное значение сигнала в этом интервале выше порога ограничения, определенного для реконструированного сигнала по формуле 2. Для более точной оценки параметров импульсов зарегистрированные импульсы 1 (рис.1,ж) аппроксимируются идеальными импульсами такой же длительности, площади которых равны площадям зарегистрированных импульсов. Видно, что амплитуды восстановленных таким образом импульсов 2, (рис.1,ж) достаточно близки к амплитудам импульсов, заданных в модельном сигнале (рис.1,а).

Предложенная методика обработки сигнала на основе дискретного стационарного вейвлет-преобразования и алгоритм шумоподавления и выделения импульсного сигнала позволяет повысить чувствительность измерительных систем к слабым сигналам, что повышает их достоверность.

## Литература

1. Addison Paul S. The Illustrated Wavelet Transform Handbook 2nd ed. — CRC, 2016. — 470 p.
2. Дьяконов В., Абраменкова И. MATLAB. Обработка сигналов и изображений. Специальный справочник. – СПб.: Питер, 2002. – 608 с.