

УДК 519.254; 004.023

Дудка Н.А., кандидат технических наук

доцент кафедры «Электрооборудования»

Казанский национальный исследовательский

технический университет им. А.Н. Туполева

Россия, г. Казань

Абрамова А.А.

магистрант кафедры «Электрооборудования»

Казанский национальный исследовательский

технический университет им. А.Н. Туполева

Россия, г. Казань

Миннегулова Д.И.

магистрант кафедры «Электрооборудования»

Казанский национальный исследовательский

технический университет им. А.Н. Туполева

Россия, г. Казань

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ НЕПАРАМЕТРИЧЕСКОГО КРИТЕРИЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗАШУМЛЕННЫХ ИМПУЛЬСНЫХ СИГНАЛОВ

Аннотация: в работе представлены результаты применения алгоритма на основе непараметрического критерия Уилкоксона для оценки отдельных параметров зашумленных импульсных сигналов. В качестве сигналов были выбраны импульсы пилообразной формы с различными значениями амплитуды и скважности, а также импульсы прямоугольной формы с различными значениями амплитуды и периодом их следования. В качестве аддитивного шума был выбран Гауссов шум. В результате применения алгоритма исходный зашумленный сигнал без проведения предварительной фильтрации преобразовывался в случайную ранговую функцию. Поведение ранговой функции характеризуется наличием в ней экстремумов в точках анализа. При этом разности ранговых функций позволяют выявить характерные точки, по которым возможно оценить отдельные параметры импульсного сигнала, а точность оценки зависит от соотношения сигнал/шум.

Ключевые слова: импульсный (пилообразный и прямоугольный) сигнал, Гауссов шум, непараметрический критерий Уилкоксона, ранговая функция, экстремумы ранговой функции, разность значений ранговой функции, соотношение сигнал/шум.

*Dudka N.A., candidate of technical sciences
Associate Professor of the Department of Electrical Equipment
Kazan National Research
Technical University named after A.N. Tupolev -KAI*

Russia, Kazan

Abramova A.A.

Master's student of the Department of Electrical Equipment

Kazan National Research

Technical University named after A.N. Tupolev -KAI

Russia, Kazan

Minnegulova D.I.

Master's student of the Department of Electrical Equipment

Kazan National Research

Technical University named after A.N. Tupolev -KAI

Russia, Kazan

Abstract: The paper presents the results of applying the algorithm based on the nonparametric Wilcoxon criterion for evaluating individual parameters of noisy pulse signals. The signals were sawtooth pulses with different values of the amplitude and duty cycle, as well as rectangular pulses with different amplitude values and their repetition period. Gaussian noise was chosen as the additive noise. As a result of applying the algorithm, the original noisy signal without preliminary filtering was transformed into a random rank function. The behavior of a rank function is characterized by the presence of extrema in it at the points of analysis. In this case, the differences in the rank functions make it possible to identify characteristic points by which it is possible to estimate individual parameters of the pulse signal, and the estimation accuracy depends on the signal-to-noise ratio.

Keywords: impulse (sawtooth and rectangular) signal, Gaussian noise, nonparametric Wilcoxon test, rank function, extrema of the rank function, difference in the values of the rank function, signal-to-noise ratio.

В работе [3] представлены результаты оценки возможностей применения алгоритма на основе критерия Уилкоксона для обработки зашумленных импульсных сигналов различной формы. В качестве шума использовался Гауссов шум. Особенностью применения данного алгоритма является отсутствие проведения процедуры предварительной фильтрации зашумленного сигнала. При этом зашумленный сигнал преобразуется в такой атрибут, как случайная ранговая функция. Характерной особенностью ранговых функций является наличие в них экстремумов в соответствующих точках анализа. При этом однозначность выделения данных точек достигается при использовании разности ранговых функций, а точность оценки их местоположения зависит от соотношения сигнал/шум. Исследования показали, что наиболее информативными элементами в ранговой функции являются точки местоположения амплитуд сигналов. Оценка местоположения данных точек позволяет оценить период сигналов.

В данной работе представлены результаты возможностей применения алгоритма на основе непараметрического критерия Уилкоксона для оценки отдельных параметров ранее не исследованных зашумленных импульсных сигналов. Для проведения исследований были выбраны последовательность импульсных сигналов пилообразной формы с коэффициентом заполнения $K_3 = 1$ и $K_3 = 0,5$, а также последовательность импульсов прямоугольной формы с коэффициентом заполнения $K_3 = 0,33$. Для оценки степени искажения пилообразного сигнала использовалось соотношение сигнал/шум следующего вида:

$$m = \Delta f / \sigma,$$

где

Δf – приращение значения сигнала от нуля до амплитудного значения в точках дискретизации (шаг равен единице);

σ – среднеквадратическое отклонение шума.

Для оценки степени искажения прямоугольного сигнала использовалось соотношение сигнал/шум, представленное в работах [4-10].

Алгоритм построения ранговой функции для $N = n_1(X) + n_2(Y) = 5 + 5 = 10$ был реализован на языке программирования Си. Максимальное значение суммы рангов равно 40, минимальное значение – 15. Для исследований был использован шум с нормальным законом распределения $N(0,1)$ (Гауссов шум). Сигналы формировались в диапазоне от 0 до 39 единиц. Всего 40 точек для анализа. Значения ранговой функции формировались соответственно в диапазоне от 5 до 35 единиц включительно. На всех ниже приведенных рисунках графики ранговых функций и их разности представлены в масштабе 1:10.

На рисунке 1 представлена характерная статистическая выборка последовательности зашумленных импульсных сигналов пилообразной формы с $K_3 = 1$. Амплитуда исходного (незашумленного сигнала) равна 15,57, приращение сигнала $\Delta f = 1,73$, соответственно $m = 1,73$. Выборка графика ранговой функции на рисунке представлена в форме квадратов.

Следует уточнить, что разброс значений представленного на рисунке графика ранговой функции и значений ранговых функций, полученных в результате статистических испытаний, в среднем отличаются на 3-5%.

Анализ поведения ранговых функций показывает, что их график отличается от графиков, представленных в работе [3]. Максимальное значение ранговая функция имеет место в середине импульса (при

возрастании его величины от нулевого значения до амплитудного значения). При этом минимальное значение ранговой функции совпадает с местоположением минимального (нулевого) значения импульса. График разности выборок ранговых функций на рисунке 1 представлен в виде соединенных между собой квадратов. При этом экстремальные точки разностей ранговых функций совпадают с точками экстремумов ранговой функции.

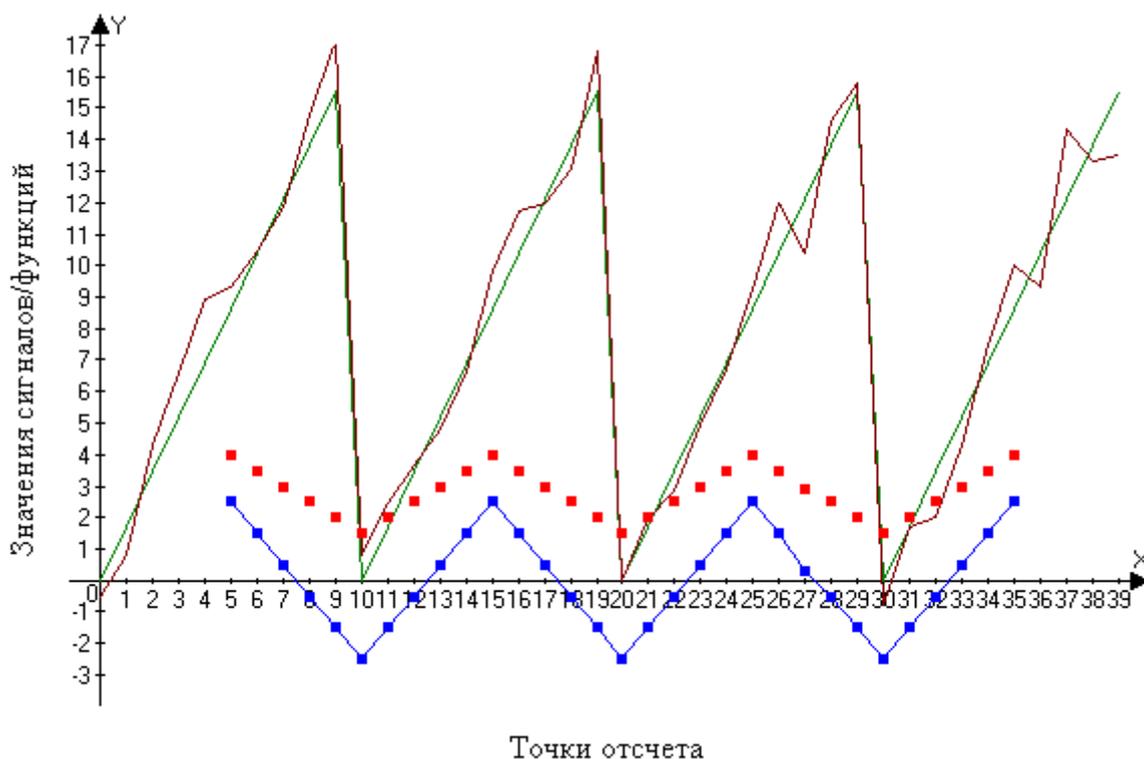


Рисунок 1 – Последовательность импульсов пилообразной формы для $K_3 = 1$ и графики ранговых функций

Тем не менее, для оценки таких параметров, как длительность импульса и период следования импульсов является целесообразным использовать точки с минимальными значениями ранговой функции или точки с максимальными отрицательными значениями разности ранговых функций. Точность оценки параметров зависит от соотношения сигнал/шум.

На рисунке 2 представлена характерная статистическая выборка последовательности зашумленных импульсных сигналов пилообразной формы с $K_3 = 0,5$. Амплитуда исходного (незашумленного сигнала) равна 15,57, приращение сигнала $\Delta f = 1,73$, соответственно $m = 1,73$. Выборка графика ранговой функции на рисунке представлена в форме квадратов. Разность ранговых функций представлена в виде соединенных между собой квадратов.

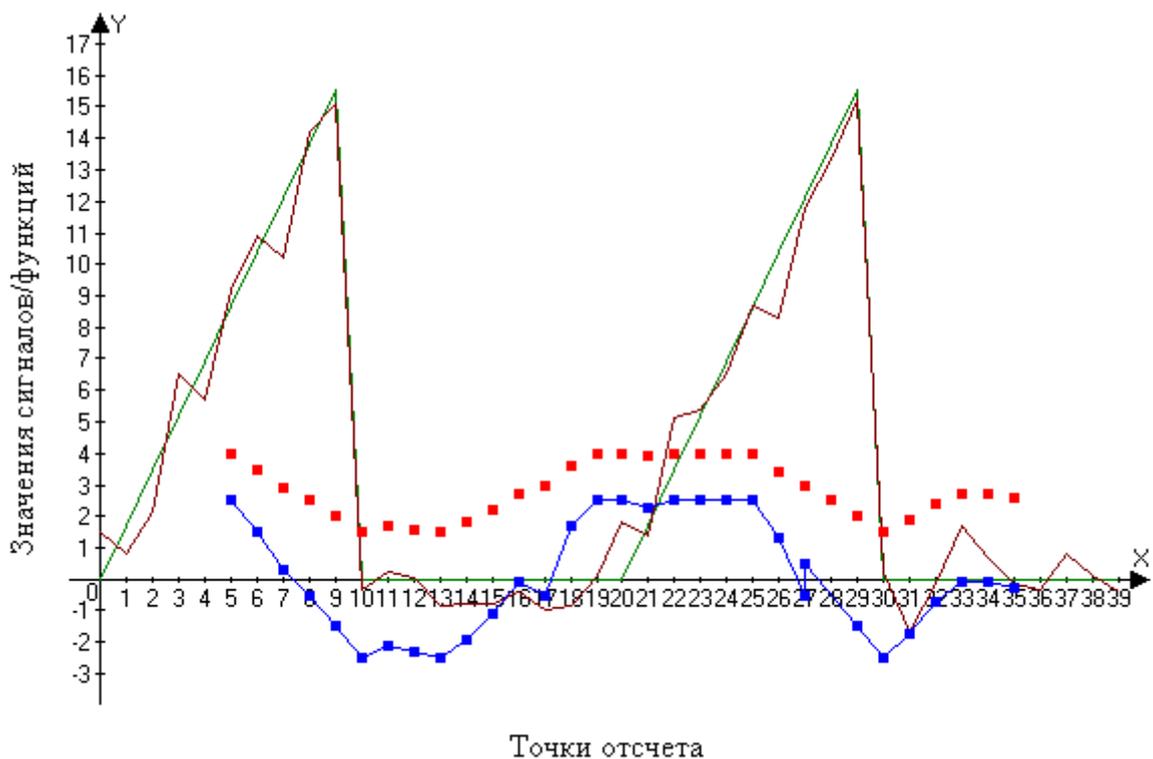


Рисунок 2 – Последовательность импульсов пилообразной формы для $K_3 = 0,5$ и графики ранговых функций

Из графиков видно, что их поведение отличается от поведения ранговых функций, представленных на рисунке 1. Совпадающими являются только точки местоположения максимальных отрицательных

значений разности ранговых функций. При этом по ним можно оценить только период следования импульсов и то только по заднему фронту.

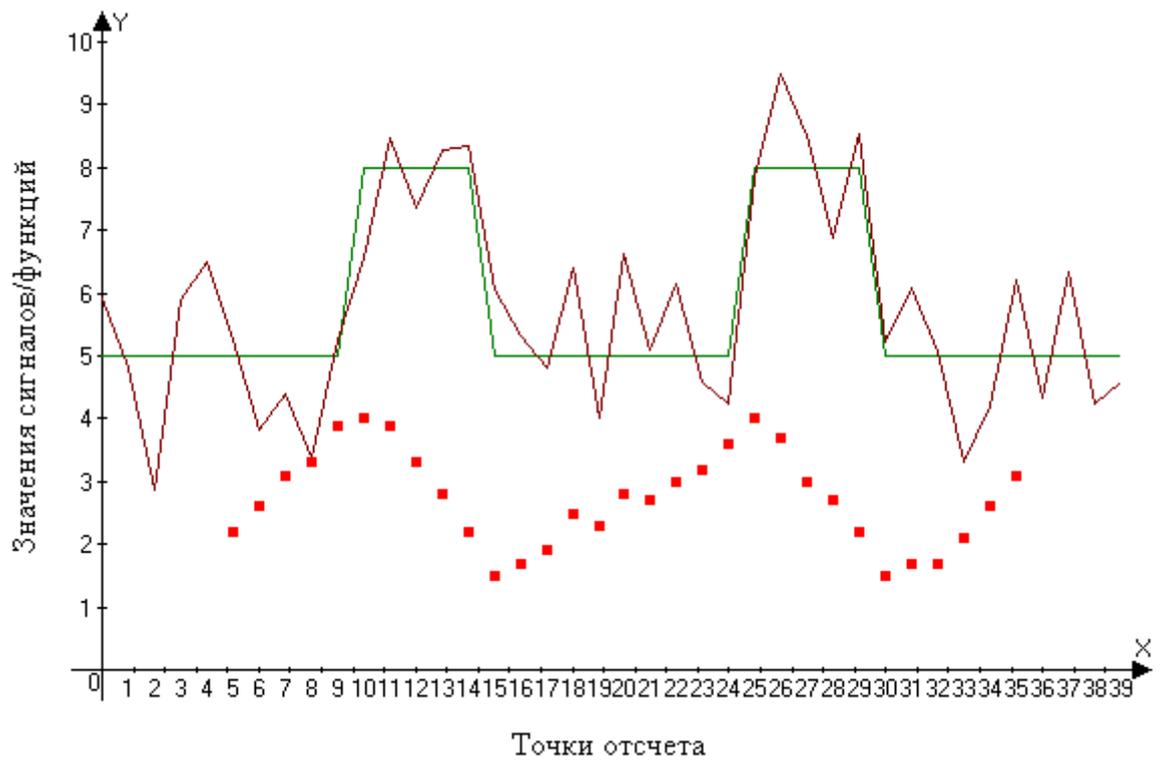


Рисунок 3 – Последовательность импульсов
прямоугольной формы

На рисунке 3 представлена характерная статистическая выборка последовательности зашумленных импульсных сигналов прямоугольной формы ($m = 1,5$). Фактически сигнал данной формы аналогичен перепадам яркостей полутоновых изображений, исследованных ранее (результаты представлены в работах [4-10]). Также ранее проведенные исследования показали, что при $m=1$ местоположения перепадов яркостей выделялись с вероятностью, близкой к единице. Следует отметить, что ранговая функция однозначно принимает максимальное значение при возрастании сигнала и минимальное значение при его убывании, поэтому необходимости в использовании разности ранговых функций при оценке импульсных сигналов прямоугольной формы нет. Точность оценки

местоположения характерных точек сигнала зависит от соотношения сигнал/шум. Для сигналов в виде импульсов прямоугольной формы могут быть определены длительность импульсов и период их следования.

Таким образом, полученные результаты исследований применения непараметрического критерия Уилкоксона для анализа и оценки зашумленных импульсных электрических сигналов пилообразной и прямоугольной формы показывают, что данный критерий и алгоритм на его основе могут быть использованы для оценки отдельных параметров сигналов без проведения их предварительной фильтрации. При этом применение конкретного алгоритма для оценки параметров будет эффективным при условии, что форма сигнала априори известна. Для случаев, когда форма зашумленного сигнала не известна, очевидна необходимость комплексного использования нескольких алгоритмов на основе непараметрического критерия Уилкоксона.

Использованные источники:

1. Дудка Н.А., Абрамова А.А., Миннегулова Д.И. Оценка возможностей применения непараметрического критерия для исследования зашумленных гармонических сигналов [Электронный ресурс] // Теория и практика современной науки.- 2021.-№10(76) (дата публикации: октябрь 2021). - [URL:http://www.modern-j.ru](http://www.modern-j.ru) (дата обращения: 01.12.21).
2. Дудка Н.А., Абрамова А.А., Миннегулова Д.И. Анализ зашумленных гармонических сигналов на основе применения непараметрического критерия [Электронный ресурс] // Теория и практика современной науки.- 2021.-№10(76) (дата публикации: октябрь 2021). - [URL:http://www.modern-j.ru](http://www.modern-j.ru) (дата обращения: 01.12.21).

3. Дудка Н.А., Абрамова А.А., Миннегулова Д.И. Оценка возможностей применения непараметрического критерия для исследования зашумленных импульсных сигналов [Электронный ресурс] // Теория и практика современной науки.- 2021.-№11(77) (дата публикации: ноябрь 2021). - [URL:http://www.modern-j.ru](http://www.modern-j.ru) (дата обращения: 01.12.21).
4. Дудка Н.А. Оценка возможностей применения непараметрического критерия для алгоритма сегментации изображений [Электронный ресурс] // Теория и практика современной науки.-2020.-№3(57) (дата публикации: март 2020). - [URL:http://www.modern-j.ru](http://www.modern-j.ru) (дата обращения: 19.11.21).
5. Дудка Н.А., Фатрахманов А.Р., Кашапов М.Р. Исследование возможностей применения непараметрического критерия в задаче обнаружения контуров на изображениях, искаженных импульсной помехой [Электронный ресурс] // Теория и практика современной науки.- 2020.-№4(57) (дата публикации: апрель 2020). - [URL:http://www.modern-j.ru](http://www.modern-j.ru) (дата обращения: 20.11.21).
6. Дудка Н.А., Фатрахманов А.Р. Исследование алгоритма обнаружения перепадов яркости изображений на основе критерия Уилкоксона [Электронный ресурс] // Теория и практика современной науки.-2020.-№11(65) (дата публикации: ноябрь 2020). - [URL:http://www.modern-j.ru](http://www.modern-j.ru) (дата обращения: 20.11.21).
7. Дудка Н.А., Фатрахманов А.Р. Исследование возможностей непараметрического критерия в задаче обнаружения контуров на искаженных изображениях [Электронный ресурс] // Издательство «НИЦ Вестник науки». Сборник статей по материалам 2 Международной научно-практической конференции, Уфа 28.04.2020 (дата публикации: 28.04.2020). - [URL:http://www.perviy-vestnik.ru](http://www.perviy-vestnik.ru) (дата обращения: 20.11.21).

8. Дудка Н.А., Фатрахманов А.Р. Алгоритм обнаружения перепадов яркости изображений на основе применения непараметрического критерия [Электронный ресурс] // Издательство «НИЦ Вестник науки». Сборник статей по материалам 4 Международной научно-практической конференции, Уфа 24.11.2020 (дата публикации: 24.11.2020). - [URL:http://www. perviy-vestnik. ru](http://www.perviy-vestnik.ru) (дата обращения: 20.11.21).
9. Дудка Н.А., Фатрахманов А.Р., Кашапов М.Р. Сравнительная оценка работы алгоритмов по выделению перепадов яркости на изображениях, искаженных помехой [Электронный ресурс] // Издательство «НИЦ Вестник науки». Научный журнал «Инновационные научные исследования», Уфа, Выпуск 2(2) (дата публикации: декабрь 2020). - [URL:http://www. perviy-vestnik. ru](http://www.perviy-vestnik.ru) (дата обращения: 20.11.21).
10. Дудка Н.А., Фатрахманов А.Р., Кашапов М.Р. Оценка результативности алгоритма выделения перепадов яркости на изображениях, искаженных помехой [Электронный ресурс] // Издательство «НИЦ Вестник науки». Научный журнал «Инновационные научные исследования», Уфа, Выпуск 2(2) (дата публикации: декабрь 2020). - [URL:http://www. perviy-vestnik. ru](http://www.perviy-vestnik.ru) (дата обращения: 20.11.21).