

УДК 621.391

СПЕКТРАЛЬНО-КОРРЕЛЯЦИОННЫЙ АНАЛИЗ РАДИОСИГНАЛОВ ИОНОСФЕРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

С. А. Останин, Ю. А. Земский

Алтайский государственный университет, г. Барнаул

Получена 19 июня 2012 г.

Аннотация. Приводятся результаты спектрально-корреляционной обработки сигналов, полученных при возбуждении ионосферы мощным модулированным коротковолновым излучением.

Ключевые слова: корреляционный анализ, спектральный анализ, вторичное излучение, ионосфера, радиоизлучение.

Abstract. The results of spectral correlation signal processing of ionospheric refraction in a powerful short-wave radiation are given.

Keywords: correlation analysis, spectral analysis, secondary radiation, ionosphere, radio emission.

В соответствии с теоретическими предположениями, с помощью корреляционной обработки можно обеспечить надежный способ анализа и обработки сигналов при соотношении сигнал к шуму равным 0 дБ и менее.

Для проверки возможностей этого метода мы использовали данные, полученные при поиске и обнаружении сигналов вторичного излучения ионосферы при воздействии на нее нагревным стендом EISCAT в ходе одного из проводимых экспериментов. Для записи сигнала использовался стандартный приемник типа «Метроникс», осуществлявший поиск в диапазоне частот от 0,5Гц до 8000Гц. Предварительная специальная обработка данных не проводилась.

Был выполнен анализ сигнала, зарегистрированного 25.02.2012 г. с 18ч.00мин. по 18ч.30мин. По предварительным оценкам отношение сигнал/шум в данном сигнале составляло около минус 39 дБ. Частота дискретизации

сигнала составляла 16 384 выборки в секунду, объем данных – 29 491 200 значений напряжения сигнала. Для локализации детектированных сигналов во времени и повышения вероятности обнаружения [1] анализ выполнялся в скользящем временном окне размером в 2^{20} значений напряжения сигнала, что соответствовало интервалу времени 64 с.

Фрагмент исходного сигнала во временной области показан на рис. 1, а на рис 2 представлен спектр мощности этого исходного сигнала. Периодические импульсы, следующие с частотой около 550Гц, занимают область спектра шириной от 50Гц до 3250Гц. Интересующий нас полезный сигнал, оказался расположенным в области 3017Гц, в той части спектра, где присутствуют гармоники импульсов 550Гц и шум.

Для надежного обнаружения и выделения слабого сигнала использовался способ повышения отношения сигнал/шум, заключающийся в последовательном вычислении автокорреляционной функции [2, 3].

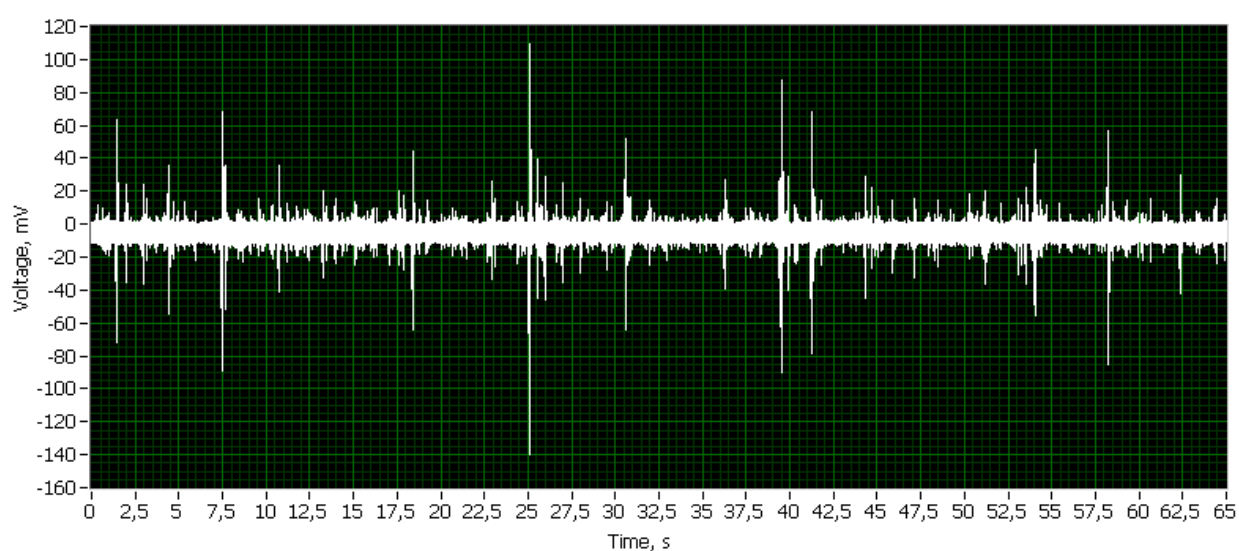


Рис. 1. Фрагмент исходного сигнала во временной области.

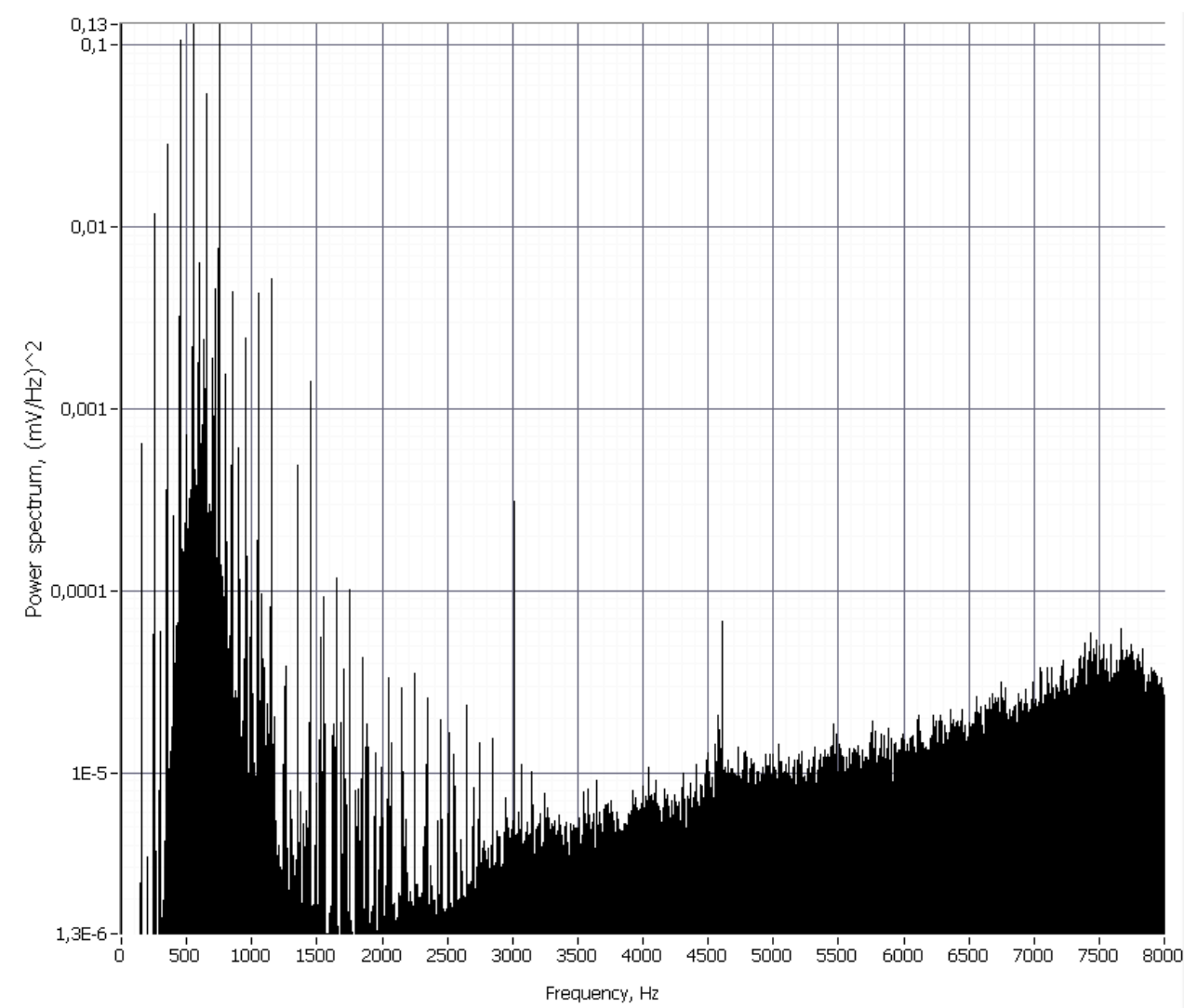


Рис. 2. Фрагмент спектра мощности исходного сигнала.

Для корреляционно-спектрального анализа сигнала в среде графического программирования LabVIEW путем последовательного соединения функциональных блоков построена блок-диаграмма программы, показанная на рисунке 3. Инструмент «Read From Measurement File» считывает файл со значениями отсчетов сигнала, путь к которому указывался в окне инструмента «File name - Path». Данные преобразовывались в массив, затем два блока «AutoCorrelation.vi» последовательно вычисляли автокорреляционную функцию. Результат преобразования подвергался спектральному анализу блоком «Spectral Measurements». Вычисление автокорреляционной функции осуществлялось в несколько итераций.

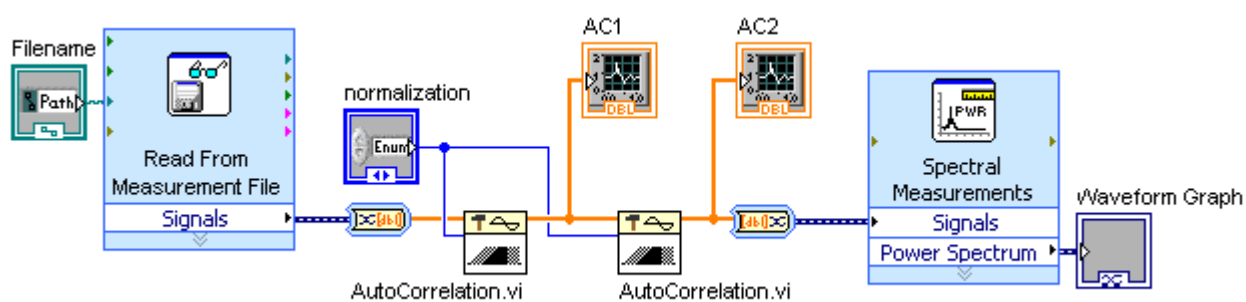


Рис. 3. Графическое представление программы для корреляционно-спектрального анализа сигнала.

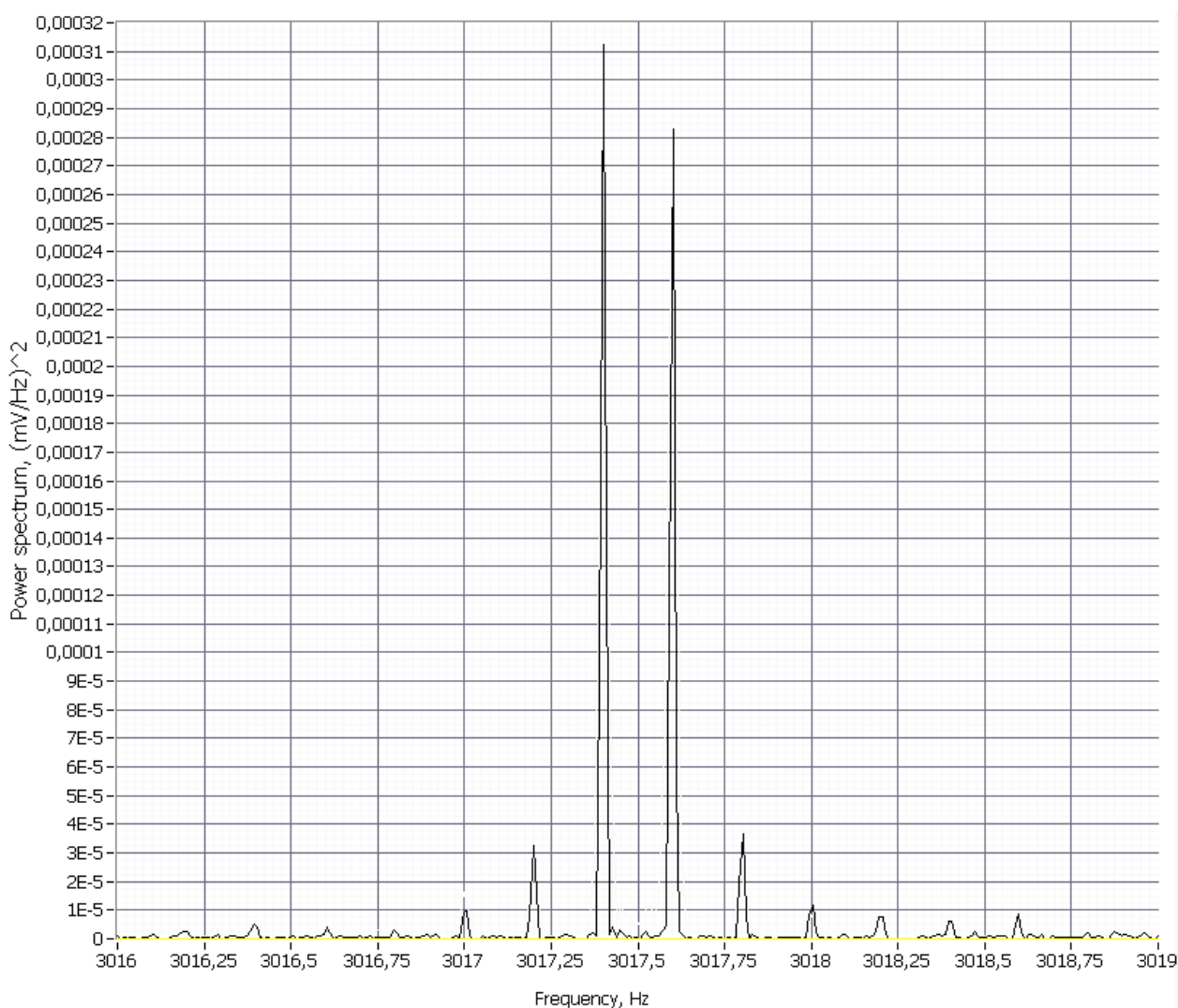


Рис. 4. Спектр мощности сигнала в области 3017Гц.

Спектральный анализ второй итерации автокорреляционной функции показал, что в исходном сигнале содержится периодическая компонента, спектр которой (рис. 4) представляет собой 14 эквидистантных линий шириной около 0.016Гц, следующих с интервалом между линиями 0.2Гц в диапазоне от 3016.2Гц до 3018.8Гц. Такой вид спектра характерен для последовательности периодически следующих пачек периодических импульсов. Ширина спектральных линий соответствует продолжительности анализируемого фрагмента сигнала (около 60 с). Интервал между линиями составляет примерно 0.2Гц, что соответствует периоду следования пачек периодических импульсов (5 с).

Для того, чтобы убедиться в справедливости оценок характеристик сигнала, в среде графического программирования LabVIEW построена блок-диаграмма программы, которая показана на рисунке 5, реконструирующая сигнал на частоте 3017Гц по комплексному спектру исходного сигнала. Блок «Measures of Mean.vi» вычисляет среднее арифметическое всех значений напряжения, которое вычитается из сигнала для устранения смещения нуля. Блок «FFT.vi» осуществляет Фурье-преобразование фрагмента сигнала размером 2^{20} значений. Блок «Complex To Re/Im» преобразует комплексный спектр сигнала в действительные и мнимые компоненты спектра. Действительная и мнимая компоненты Фурье-спектра поступают на блок «SubVI», который замещает все значения спектра, находящиеся вне диапазона от 3016,2Гц до 3018,8Гц не нулевые значения. Таким образом, осуществляется предварительная фильтрация сигнала. Фильтрованные действительная и мнимая части Фурье-спектра преобразуются блоком «Re/Im To Complex» в одномерный массив комплексных чисел – комплексный спектр, к которому применяется операция инверсного Фурье-преобразования блоком «Inverse FFT.vi». Для визуализации результата реконструкции используется графический индикатор «Reconstructed signal».

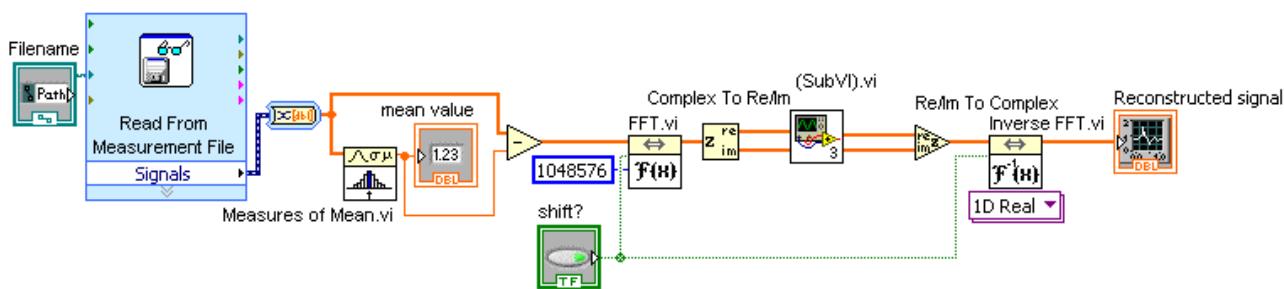
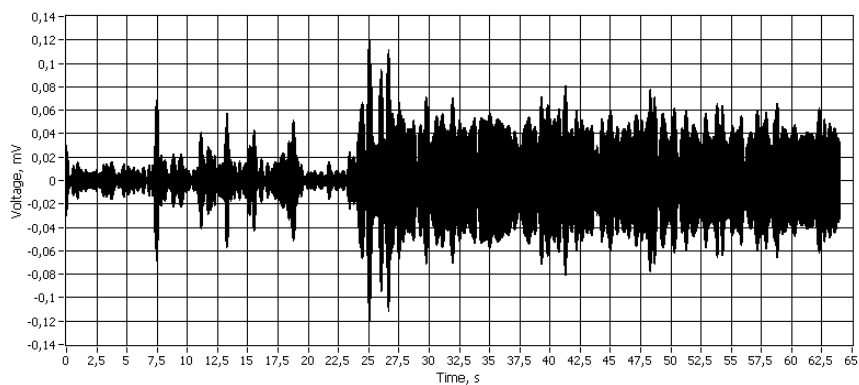


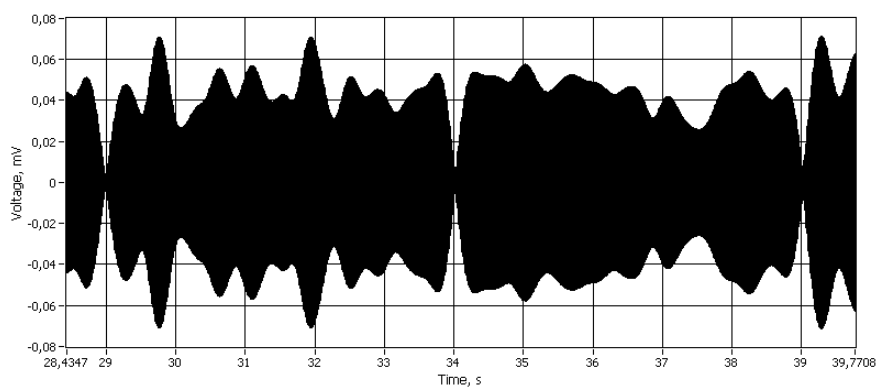
Рис. 5. Графическое представление программы для фильтрации и реконструкции сигнала.

Результат фильтрации исходного сигнала и реконструкции сигнала по комплексному спектру показан на рисунках 6 (а-г). На рисунках видно, что сигнал в области 3017 Гц представляет собой последовательность пачек импульсов (радиоимпульсы), следующих с периодом около 5с (рисунок 6б). Амплитуда сигнала достигает величины около 0.12мВ (рисунок 6 а), что в 1000 раз меньше амплитуды исходного сигнала (рисунок 1). Радиоимпульсы представляют собой результат перемножения почти прямоугольных импульсов на периодический сигнал частотой около 3017Гц. В качестве аргумента прямоугольной формы импульса может служить вид автокорреляционной функции реконструированного сигнала (рисунок 7): треугольная форма огибающей автокорреляционной функции характерна только для прямоугольной формы огибающей исходной функции.

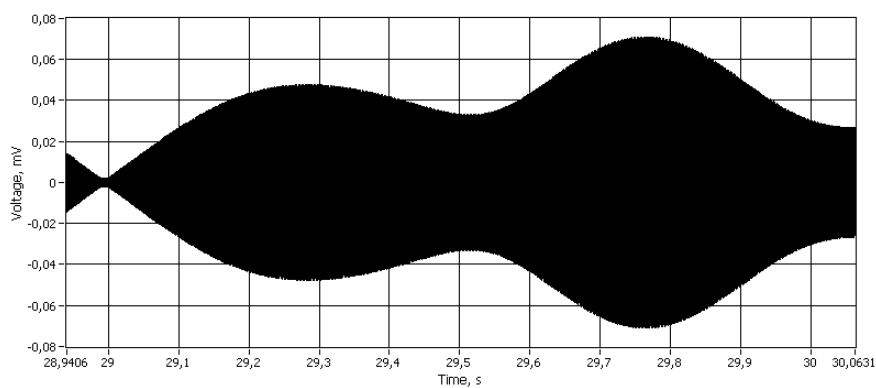


а

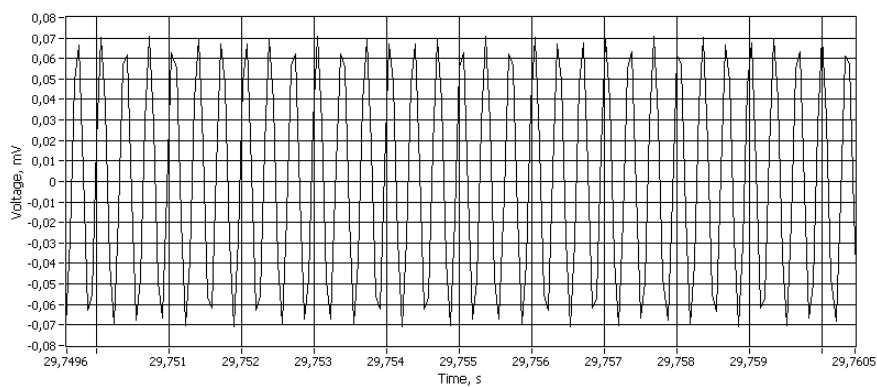
б



б



в



г

Рис. 6. Реконструированный сигнал 3017Гц: а-г – различный масштаб времени.

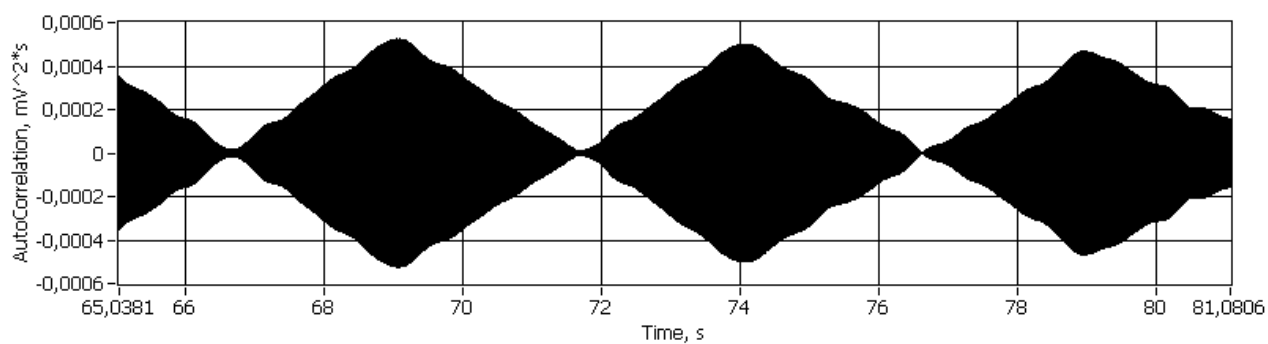


Рис. 7. Автокорреляционная функция реконструированного сигнала.

Таким образом, на основании проведенных исследований можно сделать вывод, что предлагаемый метод корреляционной обработки позволяет проводить анализ представленного в цифровой форме реального сигнала, в том числе для обнаружения слабого полезного сигнала на фоне периодического «паразитного» сигнала и шума. Путем реконструкции полезного сигнала получены оценки его амплитуды и временных характеристик.

Этот метод может найти широкое применение при поиске полезных сигналов в условиях сильных помех при превышения шумов над уровнем сигнала до 40 дБ.

Литература

1. Шайдук А.М., Останин С. А., Семёнов Г.А. Границы применимости спектральных методов обнаружения коротких периодических сигналов // Научно-технические ведомости СПбГПУ. – 2010. – №3 (104). – С. 102-114.
2. Останин С.А., Семёнов Г.А. Модифицированный корреляционный метод поиска малых периодичностей в хаотическом сигнале // Труды конференции "Лазерно-информационные технологии в медицине, биологии и геоэкологии".- Новороссийск: Вариант, 2009. – С. 107.
3. Останин С.А. Увеличение отношения сигнал/шум методом последовательного вычисления автокорреляционной функции // Интернет-ресурс (Электронный журнал) - Журнал радиоэлектроники. - М.: Изд-во ИРЭ РАН, № 12 (декабрь), 2011 г.- <http://jre.cplire.ru/jre/dec11/13/text.html>