

Шамарин А. Ю.¹, Костеров А. А.¹, Алексеенко В. Н.¹, Ежель М. Б.²

¹ЦКБ гидроакустики ООО «НПО «Кливер». Украина, Луганск

²Министерство обороны Украины. Украина, Киев

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВХОДНЫХ СИГНАЛОВ ГИДРОАКУСТИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ С ВЕКТОРНО-ФАЗОВОЙ АНТЕННОЙ

Анотація

Описана розроблена програма з моделювання роботи модуля цифрової обробки гідроакустичної станції з ВФА (векторно-фазовою антенною). Проведено оцінку коректності алгоритмів обробки вхідних сигналів, які використовуються в МЦО (модулі цифрової обробки) реальної станції, з точки зору точності обчислень.

Abstract

Described the program on the modeling of the module for digital processing of hydroacoustic stations with VPA (Vector-Phase Antenna). The evaluation of the correctness of algorithms for processing the input signals, which are used in the DPM (Digital Processing Module) real station, in terms of accuracy.

Перед постановкой в заданном районе гидроакустической станции с векторно-фазовой антенной (ВФА) необходимо выполнить ряд подготовительных работ, в том числе:

- оценить точность вычислений, проводимых модулем цифровой обработки (МЦО);
- иметь оперативный контроль проверки алгоритмов обработки входных сигналов;
- ввести в систему инструмент для оценки точности полученных результатов обработки входных сигналов.

Для решения поставленных задач была создана программа MatMod.exe, которая обеспечивает формирование входного сигнала с заданными параметрами и моделирования алгоритмов его обработки.

С использованием разработанной программы возможно:

- проверить существующие алгоритмы обработки входных данных и оценить их точность;
- разработать и проверить новые алгоритмы обработки входных данных и сравнить их с существующими алгоритмами;
- работать с реальными 4-канальными записями входных сигналов и оценивать работоспособность алгоритмов их обработки.

Программа позволяет создавать 4-канальный 12-разрядный входной сигнал с частотой дискрети-

зации 840 Гц и длительностью выборки 120 секунд, что соответствует параметрам входного сигнала гидроакустической станции с ВФА.

Для входного сигнала имеется возможность задавать размах некоррелированной и коррелированной составляющих входного шума, частоту и амплитуду входного сигнала в каждом канале, сдвиг фаз между каналами Р и Z и между X и Y, длительность импульса входного полезного сигнала, период его повторения и смещение относительно начала выборки.

Для созданного входного сигнала рассчитывается среднее значение и среднеквадратическое отклонение (СКО) в каждом канале, ковариация и корреляция между каналами Р и Z, частотные распределения проекций вектора потока мощности на оси x, y и z (RPX, RPY и RPZ) и угловое распределение горизонтальных проекций вектора потока мощности входного сигнала (Angle[F]).

Для входного сигнала с заданными параметрами можно провести статистический анализ полученных результатов. Статистический анализ позволяет оценить разброс результатов измерений, когда полезная составляющая входного сигнала остается неизменной, а шумовая составляющая изменяется случайным образом. При статистическом анализе задается количество наблюдений (до 1024), определяется среднее значение результата выборки, его СКО, а также распределение плотности вероятности полученных результатов.

На рис. 1 представлено первые 20 секунд созданного сигнала при размахе некоррелированной составляющей шума 2048 и амплитуде полезного сигнала 1024, а на рис. 2 – показана первая секунда этого же сигнала.

На рис. 3 показаны частотные распределения RPX, RPY, RPZ и угловое распределение Angle[F], а также средние значения и СКО для каждого канала, ковариация и корреляция между каналами Р и Z.

На рис. 4 показаны действительные и мнимые составляющие спектров созданного входного сигнала в каналах Р, Z, X и Y.

На рис. 5 показаны результаты статистической обработки результатов расчета угла для входных сигналов с заданными параметрами при 64 наблюдениях, на рис. 6 – при 1024.

Данная математическая модель входного сигнала предполагает, что он содержит случайную составляющую и полезный сигнал.

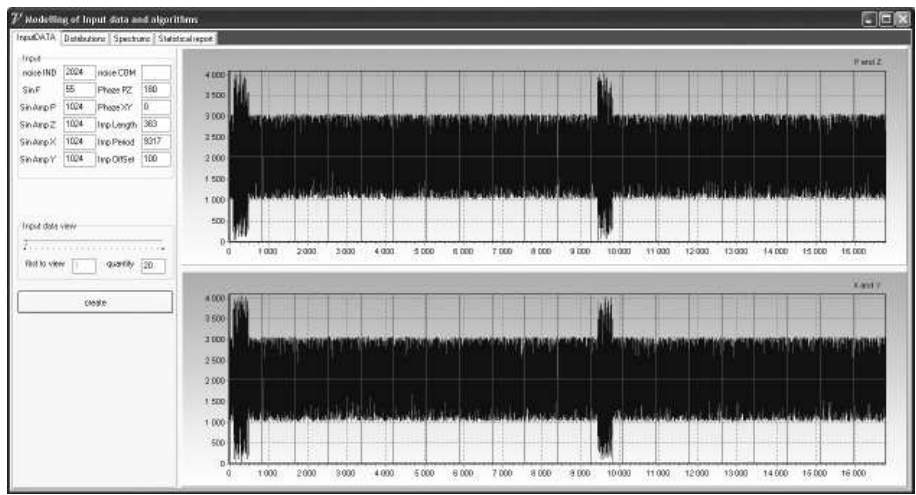


Рис. 1. Сигнал в течение первых 20 секунд при размахе некоррелированной составляющей шума 2048 и амплитуде полезного сигнала 1024

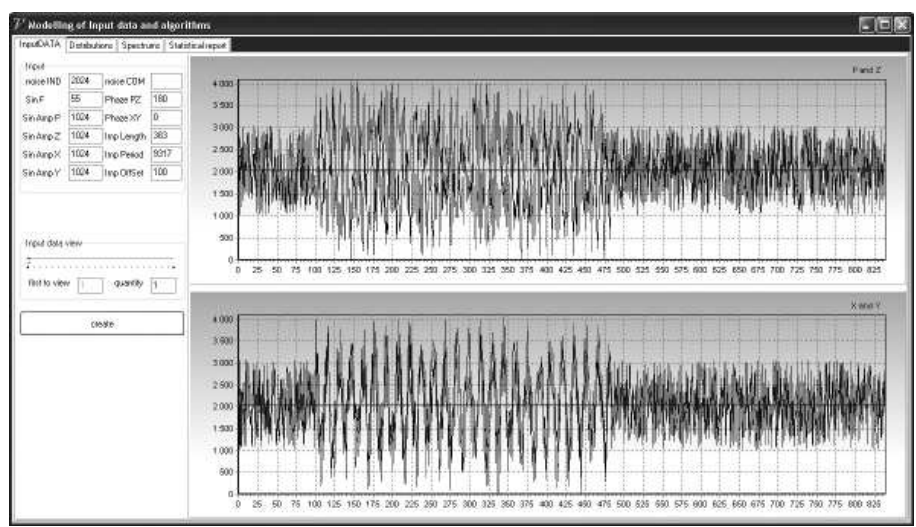


Рис. 2. Первая секунда созданного входного сигнала при размахе некоррелированной составляющей шума 2048 и амплитуде полезного сигнала 1024

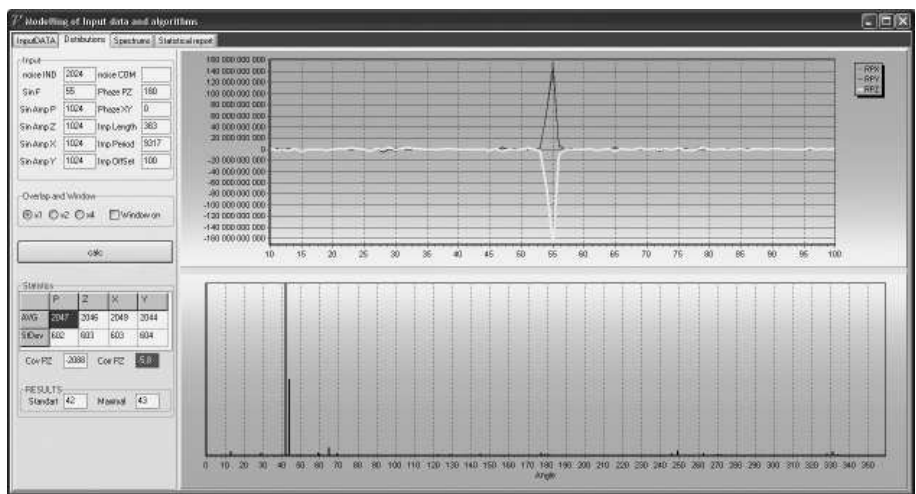


Рис. 3. Частотные распределения RPX, RPY, RPZ и угловое распределение Angle[F]

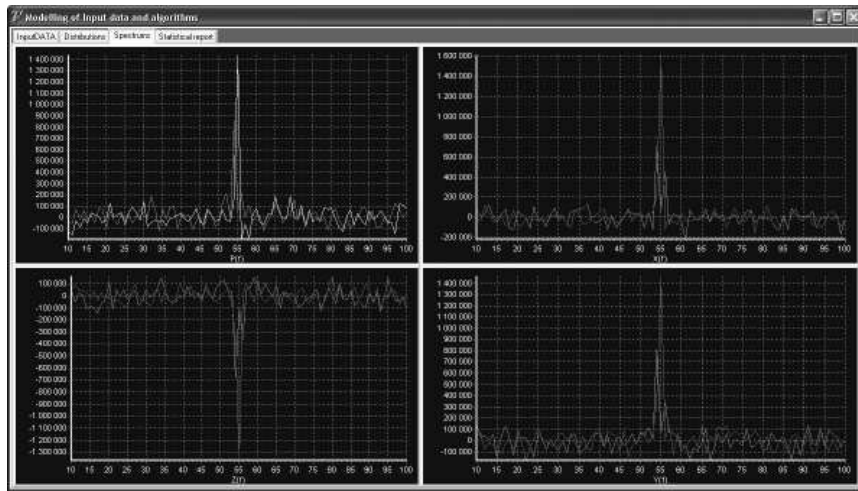


Рис. 4. Действительные и мнимые составляющие спектров созданного входного сигнала в каналах P, Z, X и Y

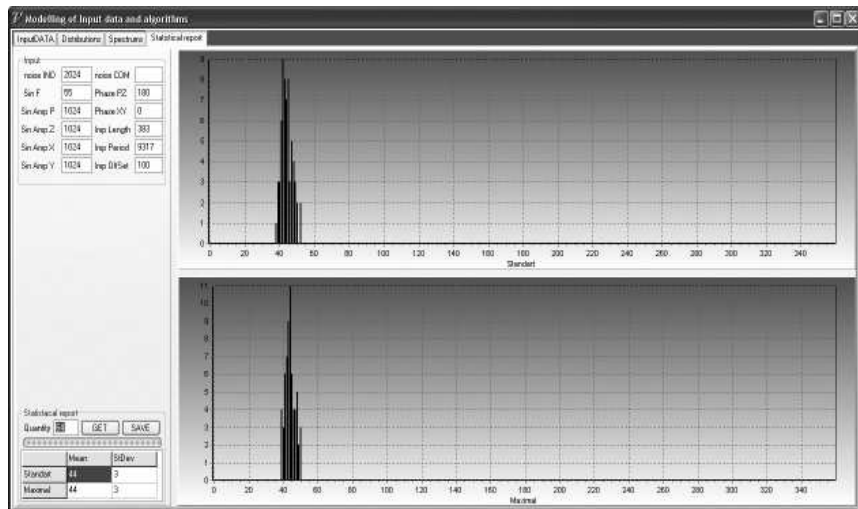


Рис. 5. Результаты статистической обработки результатов расчета угла при 64 наблюдениях

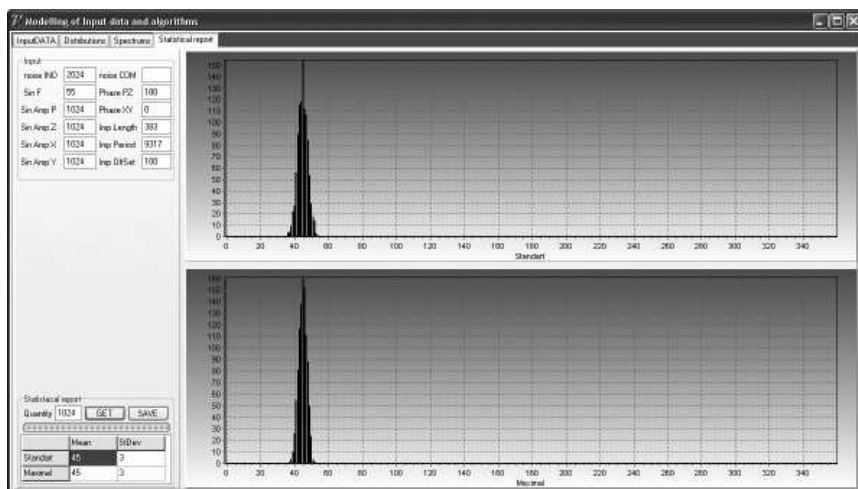


Рис. 6. Результаты статистической обработки результатов расчета угла при 1024 наблюдениях



Рис. 7. Входной сигнал, который использовался при оценке корректности алгоритмов обработки МЦО

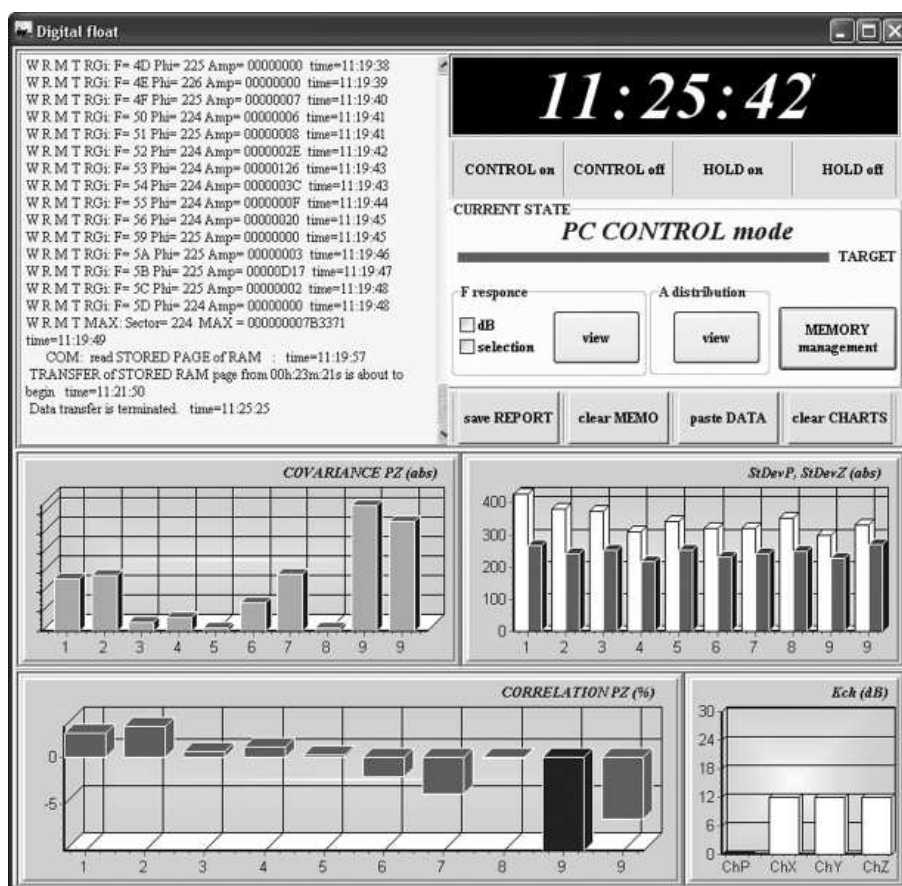


Рис. 8. Результаты работы МЦО при обнаружении цели

Случайная составляющая входного сигнала состоит из случайного некоррелированного шума в каждом канале с равномерным частотным распределением и общей (коррелированной) для всех каналов составляющей шума. Поскольку на данном этапе степень корреляции входного шумового сигнала между каналами неизвестна, то амплитуда кор-

релированной составляющей шума принимается равной нулю.

Предполагается, что полезный сигнал представляет собой постоянный или импульсный сигнал, с одинаковой частотой во всех каналах и возможностью задавать его амплитуду и сдвиг фазы в каждом канале.

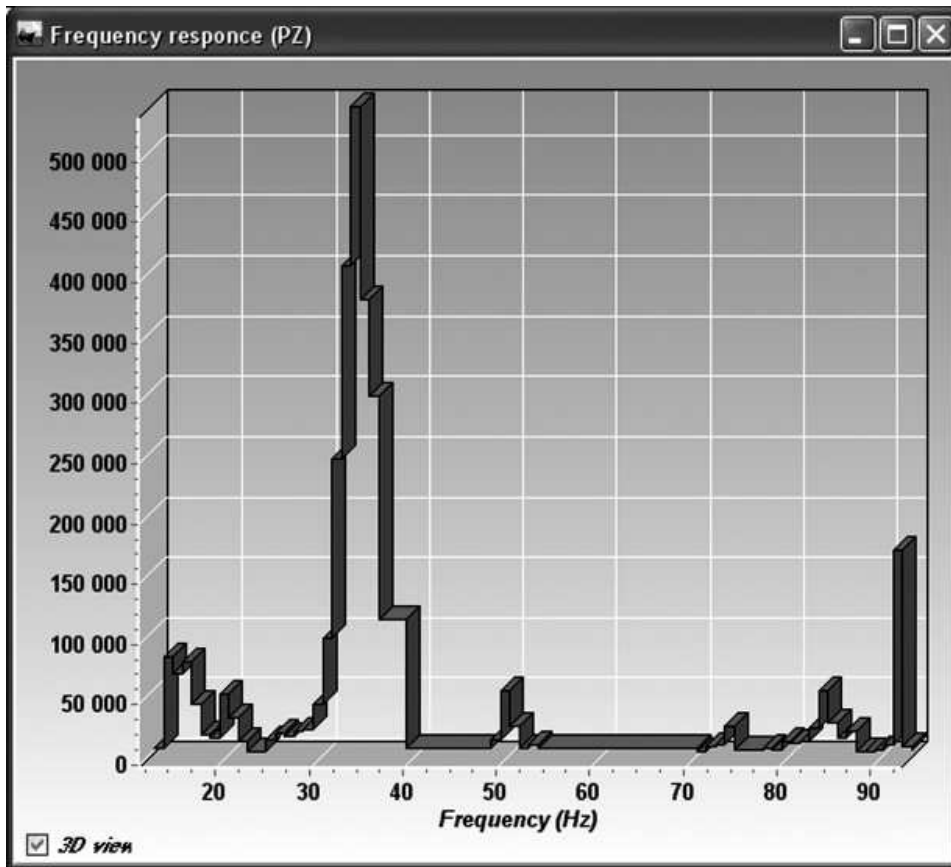


Рис. 9. Полученное частотное распределение величины RPZ

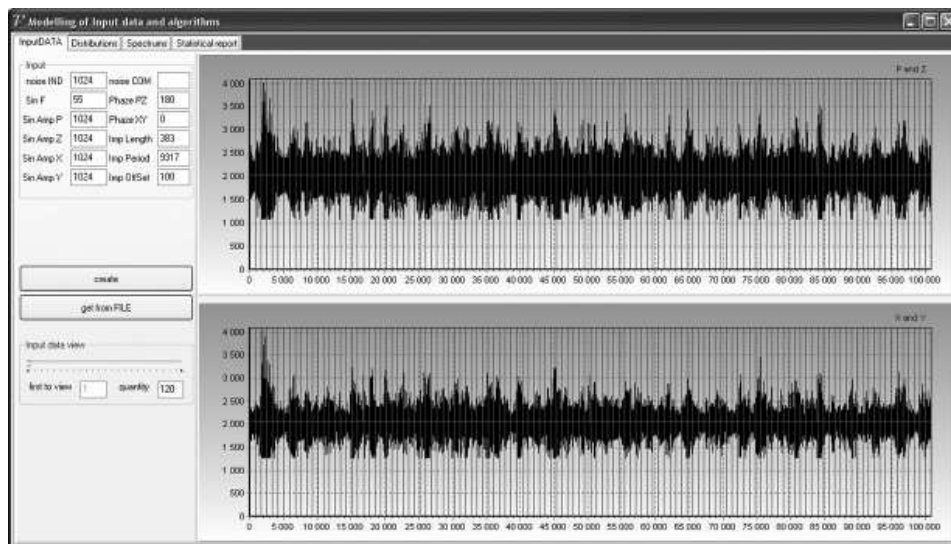


Рис. 10. Полученный входной сигнал

Такое представление входного сигнала является упрощенным и объясняется недостаточной информацией о реальных входных сигналах.

При моделировании алгоритмов обработки входных сигналов не учитывались ограничения, связанные с 16-разрядной математикой и малым объемом оперативной памяти. При таком подхо-

де результаты, полученные МЦО, всегда будут заведомо хуже, чем результаты, полученные после математического моделирования, которые можно рассматривать как идеальные результаты, с точки зрения точности вычислений, для заданного алгоритма. А это, в свою очередь, дает возможность оценить корректность алгоритмов, ко-

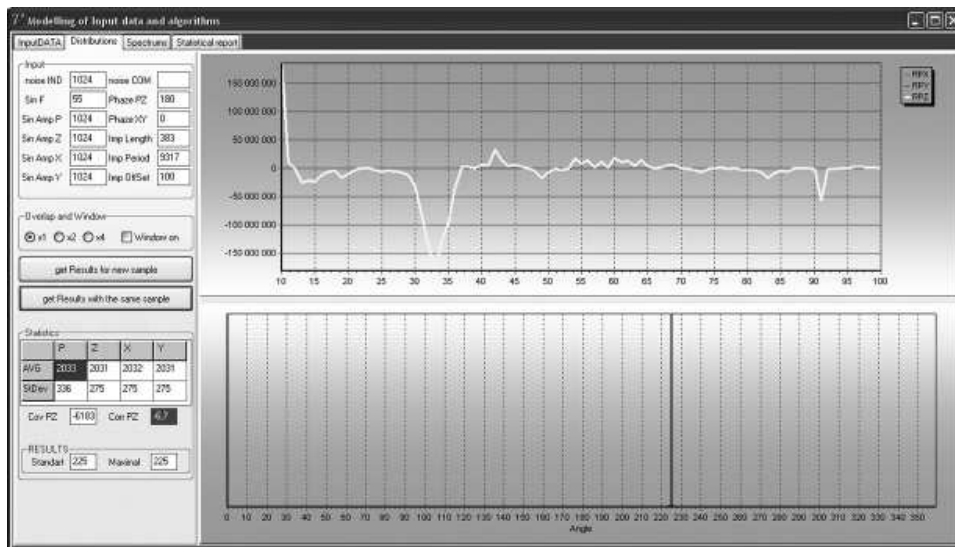


Рис. 11. Результаты обработки полученного входного сигнала

торые используются в МЦО гидроакустической станции.

Для оценки корректности предлагается обработать один и тот же входной сигнал в МЦО и при помощи программы MatMod.exe, а затем сравнить полученные результаты.

Данная оценка проводилась следующим образом:

1. С помощью программы Cool Edit Pro 2.1 в МЦО подавался входной сигнал из одного из ранее полученных файлов данных, который показан на Рис. 7.

2. МЦО, при помощи программы PC10, переводился в режим работы PC control, что давало возможность следить за промежуточными результатами его работы.

3. После обнаружения цели входной массив данных (входной сигнал) считывался в файлы данных по каналам PZ и XY в wav формате. На рис. 8 представлены результаты работы МЦО при обнаружении цели, а на рис. 9 – полученное частотное распределение величины RPZ (показанное с противоположным знаком).

4. Более точно полученные результаты выглядят следующим образом: СКО в канале P составляет 332, в каналах Z, X и Y – 270, корреляция между каналами P и Z составляет 6,6 %, угол обнаружения лежит в секторе 224–226 градусов.

5. После этого полученные файлы данных вводились в программу MatMod.exe. На рис. 10 представлен полученный входной сигнал.

6. Результаты обработки полученного входного сигнала представлены на рис. 11, а именно: СКО в канале P равно 336, в каналах Z, X и Y – 275, корреляция между каналами P и Z составляет – 6,7 %, угол обнаружения равен 225 градусам.

Полученные результаты обработки входного сигнала при помощи МЦО и программы MatMod.exe достаточно близки между собой, поэтому можно сделать вывод о том, что алгоритмы, которые используются в МЦО, обладают приемлемой точностью вычислений.

Было проведено сравнение описанного алгоритма обработки со следующими алгоритмами обработки:

- расчет угла обнаружения по максимальному отрицательному значению величины RPZ (алгоритм максимального значения);
- использование весовой функции при спектральном анализе входного сигнала;
- обработка входного сигнала с перекрытием;
- максимального значения без использования весового окна и без перекрытия;
- обработки без весового окна с коэффициентом перекрытия 2;
- обработки с весовым окном и с коэффициентом перекрытия 2;
- обработки без весового окна и с коэффициентом перекрытия 4;
- обработки с весовым окном и с коэффициентом перекрытия 4.

Из проведенного анализа можно сделать следующие заключения:

- алгоритм максимального значения определения угла показывает менее устойчивые результаты по сравнению со стандартным алгоритмом;
- применение весового окна не оказывает существенного влияния на результаты вычислений;
- обработка входного сигнала с перекрытием позволяет достаточно существенно уменьшить СКО результатов вычислений.

Подводя итог проделанной работе, можно сказать, что программа математического моделирования входных сигналов и алгоритмов их обработки MatMod.exe позволяет:

- оценить точность результатов работы МЦО;
- оценить и сравнить существующие и предлагаемые алгоритмы обработки входных сигналов с точки зрения точности полученных результатов;
- обрабатывать записи реальных входных сигналов и оптимизировать алгоритмы их обработки.