

УДК 621.396.96

## **Использование методов интерполяции при разработке тестовых радиолокационных сигналов**

**Вайс С.Н., Репина М.В. \***

*Концерн радиостроения «Вега»,*

*Кутузовский проспект, 34, Москва, 121170, Россия*

*\*e-mail: masharepina88@yandex.ru*

### **Аннотация**

Обоснованы возможности использования методов интерполяции при разработке тестовых данных, создаваемых на основе записей реальных сигналов и предназначенных для проверки и испытаний устройств обработки сигналов бортовых обзорных радиолокационных станций. Исследованы энергетические и спектральные характеристики шумов интерполяции. Показано, что шумы интерполяции являются мультипликативными и коррелированными, а их энергия сосредоточена в узкой полосе частот, что позволяет исключить их влияние на обнаружение целей. Произведено моделирование работы алгоритмов выделения и блокирования пассивных помех от подстилающей поверхности, принимаемых по основному и боковым лепесткам ДНА. Предложено внедрение процедуры интерполяции в алгоритм обработки сигналов с целью повышения разрешающей способности радиолокатора по дальности и частоте.

**Ключевые слова:** обзорная РЛС, интерполяция, цифровая обработка сигналов, спектральный анализ, разрешающая способность.

## Введение

При создании современных авиационных комплексов дальнего радиолокационного обнаружения и управления (АК ДРЛОиУ) большое внимание уделяется максимально возможному использованию при их отработке и испытаниях существующих банков записей реальных радиолокационных сигналов, полученных в ходе летных испытаний предшествующих радиолокационных систем и комплексов.

Бортовая РЛС дозорного комплекса представляет собой импульсно-доплеровскую РЛС с квазинепрерывным излучением малой скважности и предназначена для создания единого информационного поля обнаружения воздушных движущихся целей, включая и маловысотные. В зону облучения РЛС неизбежно попадают значительные области земной поверхности, вследствие чего наряду с потоком реальных целей формируется интенсивный поток ложных, в том числе и целеподобных отметок, который, если не принять соответствующих мер, может парализовать работу системы построения и сопровождения трасс целей.

Основной задачей устройства цифровой обработки сигналов, входящего в состав РЛС, является реализация целого ряда алгоритмов селекции и обнаружения движущихся целей на фоне мощных отражений от подстилающей поверхности. Обычно отработка алгоритмов обработки сигналов производится с помощью компьютерного моделирования и завершается на этапе натурных, весьма дорогостоящих летных испытаний. В настоящей работе предлагается другой, более эффективный и экономичный способ отладки и испытаний радиолокационного

комплекса – с использованием в качестве входных данных записей реальных радиолокационных сигналов. Такие записи, содержащие различные сценарии мишенной обстановки, накоплены в банке данных в значительном объеме при проведении летных испытаний предшествующих обзорных РЛС.

Препятствием на пути прямого использования записей сигналов являются различия в форматах сигнальных кадров. Для приведения форматов исходных записей к нужному виду предлагается использовать интерполяцию исходных комплексных отсчетов сигнала, как по дальности, так и по частоте.

### Точность и шумы интерполяции

Особое внимание при использовании интерполяционных методов восстановления сигнальных отсчетов было обращено на точность интерполяции, поскольку даже незначительные на первый взгляд искажения, вносимые в сигналы пассивной помехи, могут привести к столь существенному росту шумовых «крыльев» их частотного спектра, что обнаружение

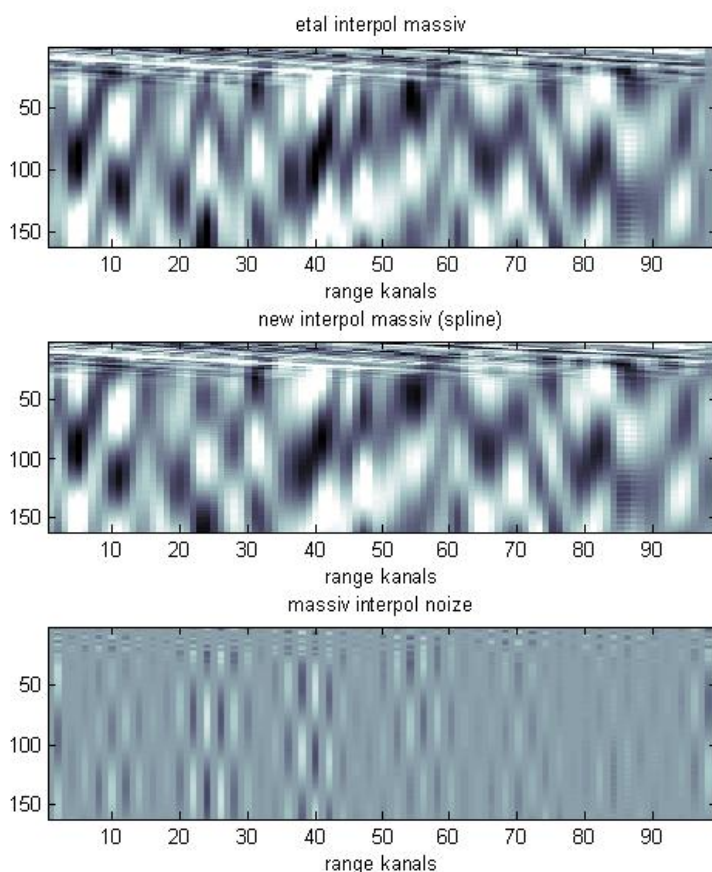


Рисунок 1. Матрицы входных сигналов в исходном и полученном кадрах (верхнее и среднее изображения). На нижнем изображении – шумы интерполяции в кадре.

малоразмерных целей станет невозможным.

На рисунке 1 приведены двумерные изображения входных сигналов исходного и полученного кадров, а также матрица шумов интерполяции.

Относительный уровень шумов интерполяции, усредненный по всему ансамблю выборок в кадре, весьма значителен – примерно, минус (18÷20) дБ. Тогда как относительный уровень собственных шумов приемника в подобных радиолокаторах обычно лежит в пределах минус (50÷80) дБ.

В этой связи очень важным и интересным представляется результат анализа спектральных характеристик шумов интерполяции.

На рисунке 2 приведены спектрограммы шумов, полученные во всех элементах дальности в кадре и наложенные друг на друга.

На рисунке 3 те же спектрограммы развернуты в двумерную матрицу с координатами «частота - дальность».

Как видно, энергетический

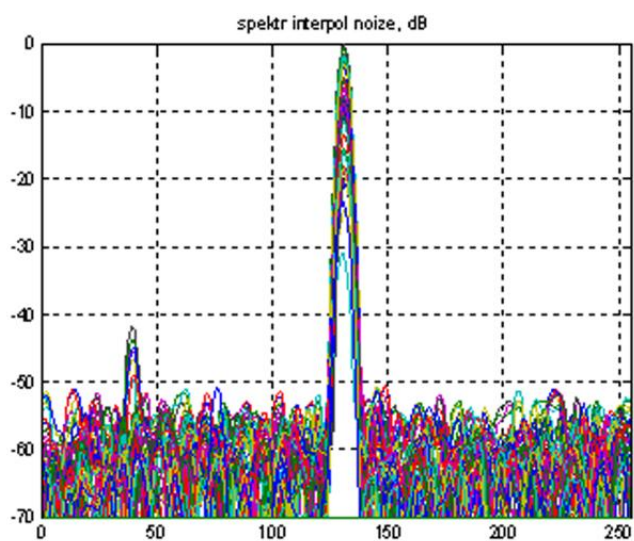


Рисунок 2. Спектры шумов интерполяции во всех элементах дальности в кадре

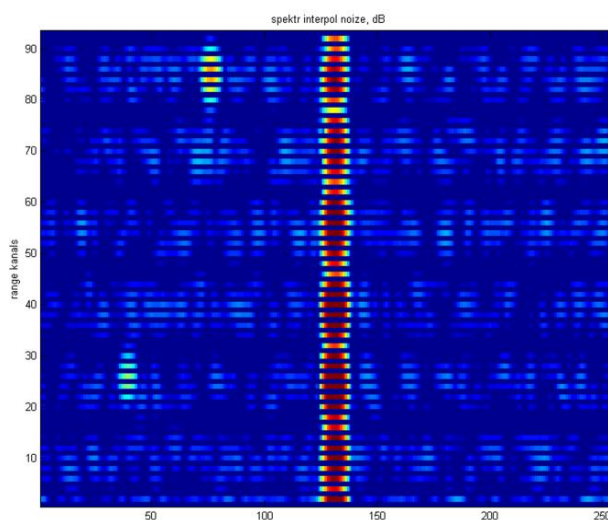


Рисунок 3. Матрица спектров шумов интерполяции в координатах «частота-дальность»

спектр шумов практически полностью сконцентрирован в узкой полосе частот в районе нулевых частот, там, где сосредоточен спектр самой коррелированной пассивной помехи (последнее свидетельствует о мультипликативном характере шумов интерполяции).

Отсюда следует, что поскольку указанная область спектра при обработке сигналов всегда исключается – из-за невозможности обнаружения целей в этой зоне, то шумы интерполяции практически не оказывают никакого влияния на характеристики обнаружения целей. Последнее подтверждается прямым измерением отношения сигнал/шум для одной из целей, взятой в исходном и в интерполированном кадре – оно одинаково в обоих случаях (см. рисунки 4 и 5).

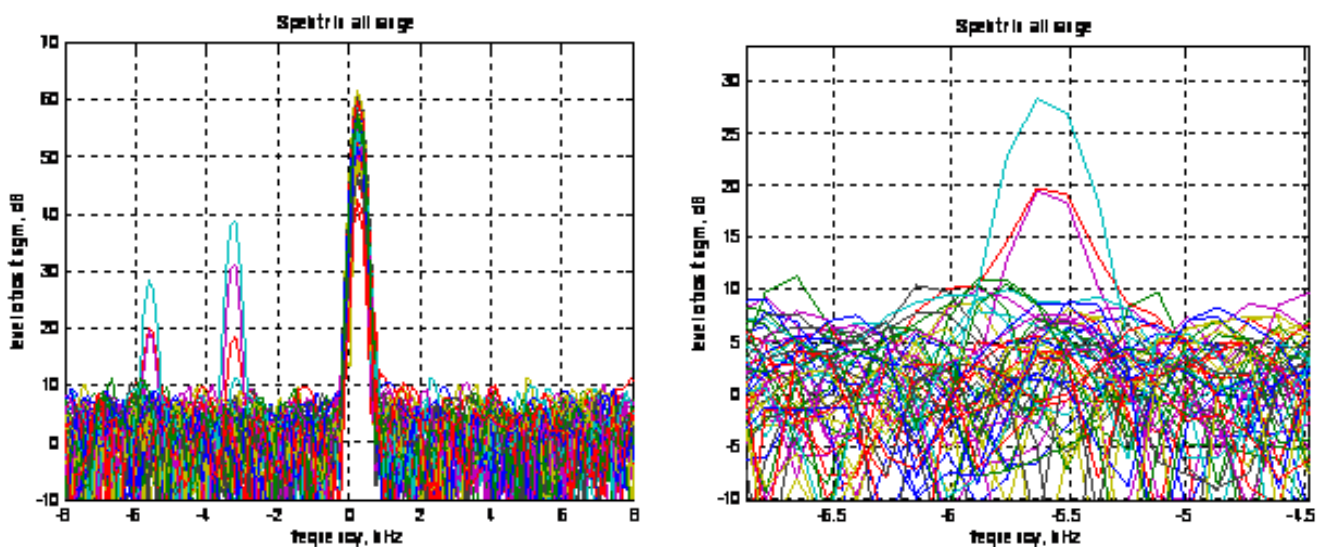


Рисунок 4. Слева - спектры сигналов во всех элементах дальности в исходном кадре, наложенные друг на друга, справа – увеличенный фрагмент участка спектра в области цели. Отношение с/ш=28 дБ.

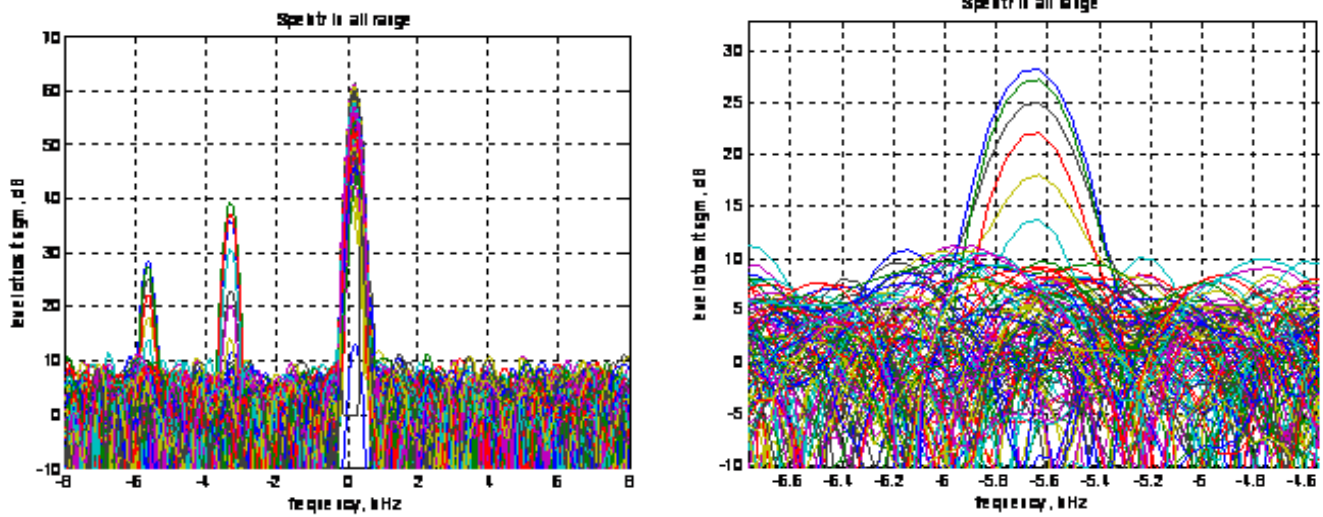


Рисунок 5. Слева - спектры сигналов во всех элементах дальности в интерполированном кадре, наложенные друг на друга, справа – увеличенный фрагмент участка спектра в области цели. Отношение с/ш=28 дБ.

### Результат моделирования

Сравнивая изображения фрагментов выходных матриц БПФ (рисунок 6), можно отметить более высокое качество изображений в интерполированных кадрах по сравнению с исходными записями, которое является следствием повышения разрешающей способности по дальности и частоте в результате проведенной интерполяции. Разрешение по дальности связано с увеличением частоты представления сигнала, которое фактически происходит при создании интерполированных отметок, а разрешение по частоте – с увеличения размерности БПФ.

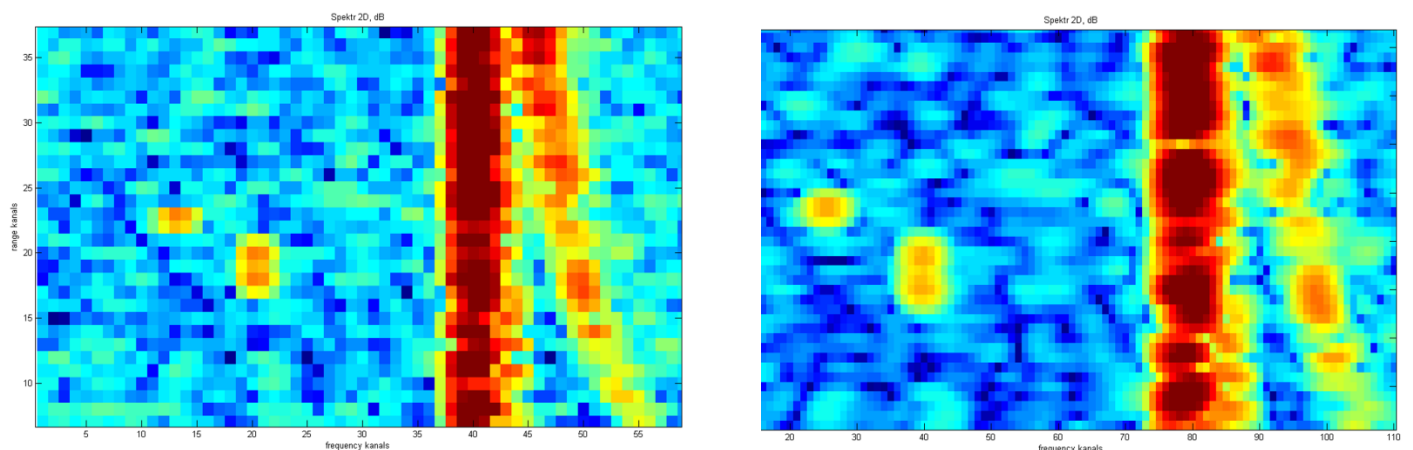


Рисунок 6. Укрупненные фрагменты выходных матриц БПФ исходного кадра (слева) и интерполированного кадра (справа)

## Эффект наложения спектров

Известно, что при недостаточно высокой по сравнению с шириной спектра сигнала частотой тактирования заметно проявляется эффект наложения спектров (см. рисунок 7). Высокочастотные компоненты спектра сигнала, ответственные за потенциально достижимое разрешение по дальности, выходят за пределы половинной частоты дискретизации и утрачивают при этом свою эффективность.

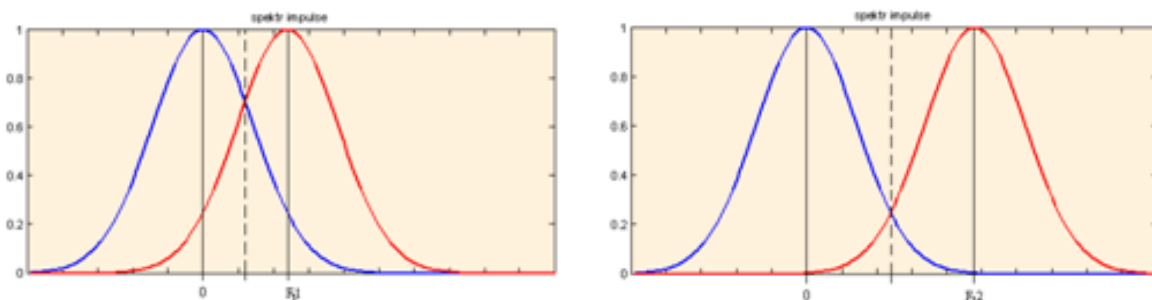


Рисунок 7. Эффект наложения частотных спектров одиночного импульса на выходе цифрового приемника:  $F_1$  (слева) и  $F_2 > F_1$  (справа).

По мере увеличения частоты дискретизации действие эффекта наложения спектров ослабляется и его влияние на параметр разрешения становится пренебрежимо малым.

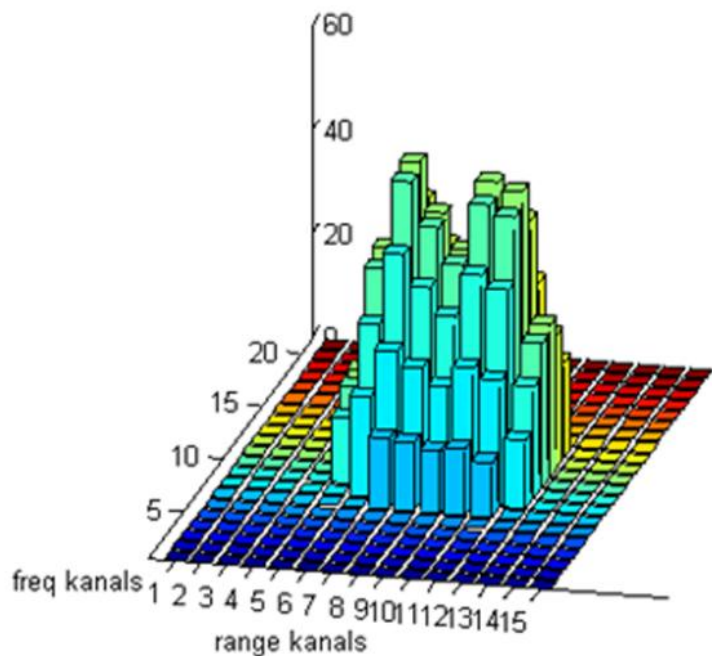


Рисунок 8. Трехмерный фрагмент выходной матрицы БПФ с двумя группами отметок, разрешаемых по дальности

Для подтверждения выводов визуального наблюдения были произведены количественные измерения зависимости разрешающей способности по дальности и доплеровской частоте в зависимости от частоты выборки сигналов. При этом в кадр исходной записи сигналов искусственно вводились две точечные цели, разность которых по дальности и частоте мог изменяться в необходимых пределах. Критерием разрешения являлось наличие провала между двумя группами отметок (см. рисунок 8).

Результаты измерений (см. рисунок 9), показывают, что при увеличении тактовой частоты в 1,8 раза по сравнению с принятой в радиолокаторе-прототипе ( $F_t=1$ ), разрешающая способность возрастает, примерно в 1,5 раза.

Дальнейшее повышение тактовой частоты, как видно из графика, нецелесообразно.

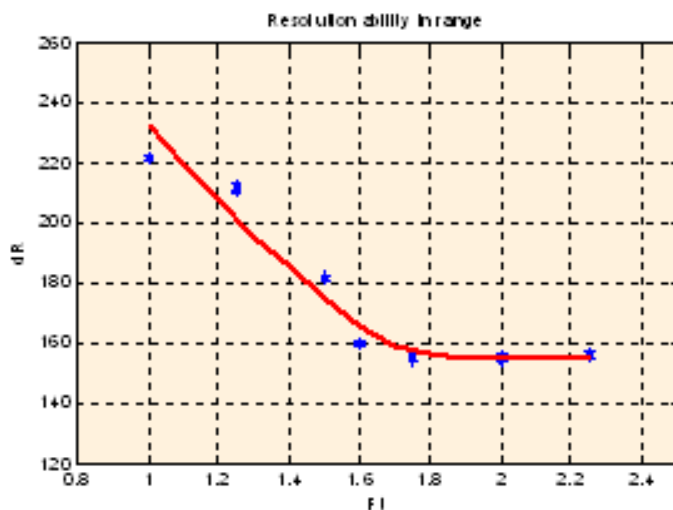


Рисунок 9. Зависимость разрешающей способности по дальности от частоты тактирования (частота указана в относительных единицах)



Отсюда следует, что частота тактирования в радиолокаторе может быть выбрана меньше требуемой для точного восстановления сигнала в соответствии с теоремой Котельникова. При работе с большими объемами данных это позволит снизить требования к каналу передачи информации.

Результат компьютерного моделирования работы алгоритмов обнаружения и блокирования помех от подстилающей поверхности представлен на рисунке 10. Благодаря применению массивов интерполированных данных, параметры алгоритмов могут быть скорректированы уже на этапе тестирования.

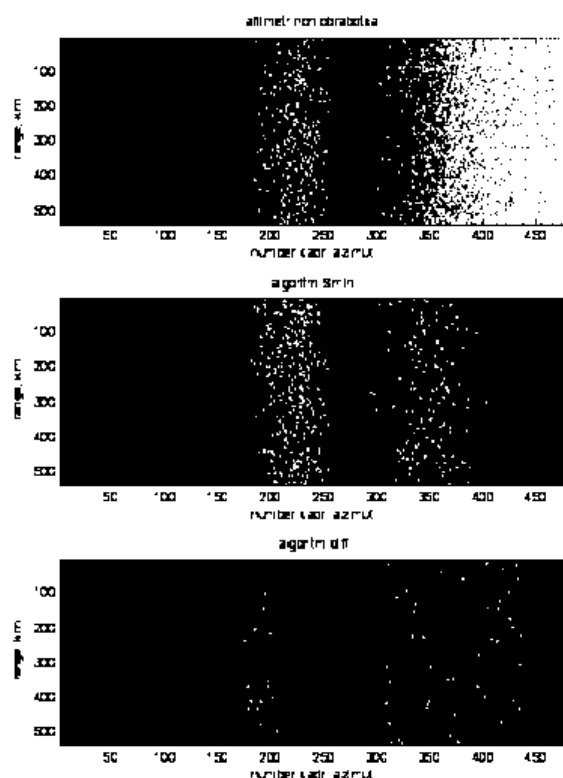


Рисунок 10. Помеховая засветка восстановленного сигнального кадра до обработки (вверху) и после работы двух алгоритмов с различными параметрами.

## Выводы

Использование записей реальных сигналов позволяет произвести отладку и испытания создаваемого радиолокационного комплекса по целому ряду параметров и характеристик без организации дорогостоящих летных испытаний. Может быть оценена также эффективность работы алгоритмов выделения и блокирования пассивных помех от подстилающей поверхности, принимаемых по основному и боковым лепесткам ДНА.

В существующих дозорных РЛС может быть повышена разрешающая способность путем введения в программы обработки сигналов процедур интерполяции. При этом изменение конструкции АЦП и цифровых приемников не требуется.

### Литература

- [1] Доманин К.И., Устинов В.И. Комплексная имитация цифровых данных радиолокационного и навигационного оборудования для АРМ РЛС // V научно-техническая конференция «Проблемы развития боеприпасов, средств поражения и систем управления»: Тезисы – Пенза. 2006
- [2] Корнеев Ю.А., Гладков В.В. Перспективные методы имитации радиолокационных сцен и сигналов. Часть 1,2 // XI Международная научно-техническая конференции «Радиолокация. Радионавигация. Связь»: Сборник докладов – Воронеж. 2005
- [3] Оппенгейм А., Шафер Р. Цифровая обработка сигналов. М: Техносфера. 2009.
- [4] Самарский А.А., Гулин А.В. Численные методы. М: Наука. 1989
- [5] Турецкий А.Х. Теория интерполирования в задачах. Минск. Высшая школа. 1968
- [6] Ханова А.А. Интерполяция функций. Методическое пособие. Астраханский государственный технический университет. 2001