
УДК 621.396.969.1

**АНАЛИЗ МОНОИМПУЛЬСНОГО ПЕЛЕНГАТОРА
С ОБРАБОТКОЙ ИНФОРМАЦИИ
В ЧАСТОТНО-ВРЕМЕННОМ АНАЛИЗАТОРЕ
ПО РЕЗУЛЬТАТАМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

Ю.Н. Седышев^{1*}, Р.К. Давлеткалиев¹, О.С. Кравцова, Ю.Е. Поленова²

¹ЗАО НПП «Спец-радио»
г. Белгород, ул. Промышленная, д. 4

²Белгородский государственный университет
308015, Белгород, ул. Победы, 85

Представлена и развита математическая модель частотно-временного анализатора с быстрым спектральным анализом для решения задачи амплитудного пеленгования источников радиоизлучения. На основе имитационного математического моделирования при использовании калиброванных параметров модели проведен системный всесторонний анализ пространственно-временной обработки сигналов источников радиоизлучения.

Получение достоверной информации об источниках радиоизлучения (ИРИ) различного назначения системами пассивной радиолокации (СПРЛ) представляет собой одну из сложных и актуальных научно-технических проблем. По сравнению с активной радиолокацией обнаружение, пеленгование и распознавание источников радиоизлучения происходит в условиях априорной неопределенности частотно-временной структуры принимаемых сигналов. Учитывая сложность задачи пространственно-временной обработки ансамблей сигналов для средств пассивной локации, ее решение может быть получено на основе имитационного математического моделирования при использовании калиброванных параметров модели и типовых ансамблей сигналов источников радиоизлучения, одинаковых при исследовании различных устройств обработки по пространству (угловым координатам), времени (запаздыванию) и частоте (спектру). При этом следует учесть ряд особенностей тракта прохождения сигнала, которые влияют на получение информации о пеленге.

В первую очередь следует обратить внимание на то, что амплитудную моноимпульсную систему для пеленгования ИРИ в двух ортогональных плоскостях [1] можно создать путем комбинации моноимпульсных систем, одна из которых предназначена для работы в азимутальной плоскости, а другая – в угломестной, при этом должен быть предусмотрен канал подавления боковых лепестков (ПБЛ). Амплитудный метод пеленгования основан на сравнении амплитуд сигналов, поступающих от различных антенн, после их частотно-временной обработки в частотно-временном анализаторе (ЧВА).

* SpetzRadio@belgtts.ru

При этом точность получения дискриминаторных характеристик зависит от степени идентичности каналов прохождения сигналов.

Основная сложность реализации потенциальных возможностей определения пеленга состоит в том, что каналы ЧВА обычно имеют ограниченный динамический диапазон по входным сигналам. Это обстоятельство, с одной стороны, усложняет прием и анализ сигналов большой амплитуды, а с другой – существенно ограничивает возможности построения системы устранения ложных пеленгов при сравнении (нормировке) амплитуд сигналов, принятых различными антеннами. В случае использования моноимпульсного метода измерения угловых координат ИРИ с использованием ЧВА задача нормировки в широком динамическом диапазоне входных сигналов трехканального широкополосного приемника еще более усложняется. Ее решение возможно при использовании высокоскоростных цифровых технологий при наличии 12-14-разрядных АЦП с тактовыми частотами не менее 1 ГГц.

Принятый способ спектрально-временных преобразований приводит к эффектам, аналогичным применению полосового ограничителя. Для работы на линейных участках амплитудных характеристик широкополосных приемников можно применить регулировку усиления. При этом она должна быть мгновенной и не влиять на групповое время запаздывания (ГВЗ) каналов во всем динамическом диапазоне. В противном случае в нелинейном канале возникают искажения, которые приводят к появлению нечетных гармоник (3, 5 и т.д.) мощных сигналов и подавлению слабых сигналов более сильными.

Для комплексного решения вопросов согласования динамического диапазона входных сигналов и тракта ЧВА, оценки влияния нелинейных эффектов при наличии ограничения в каналах, а также возможностей построения амплитудного моноимпульсного пеленгатора при обработке сигналов на выходе ЧВА создана его имитационная математическая модель (ИММ) (рис.1). В схему модели включены блоки (окна) ограничителя сигналов, каналы имитации трех антенн (левая, правая, ПБЛ), состоящие из системы частотного кодирования и уплотнения, соответствующих аттенуаторов и блоков формирования собственных (коррелированных шумов). Тем самым получена возможность оценки угловых координат на этапе обработки данных в преобразователе масштаба-времени.

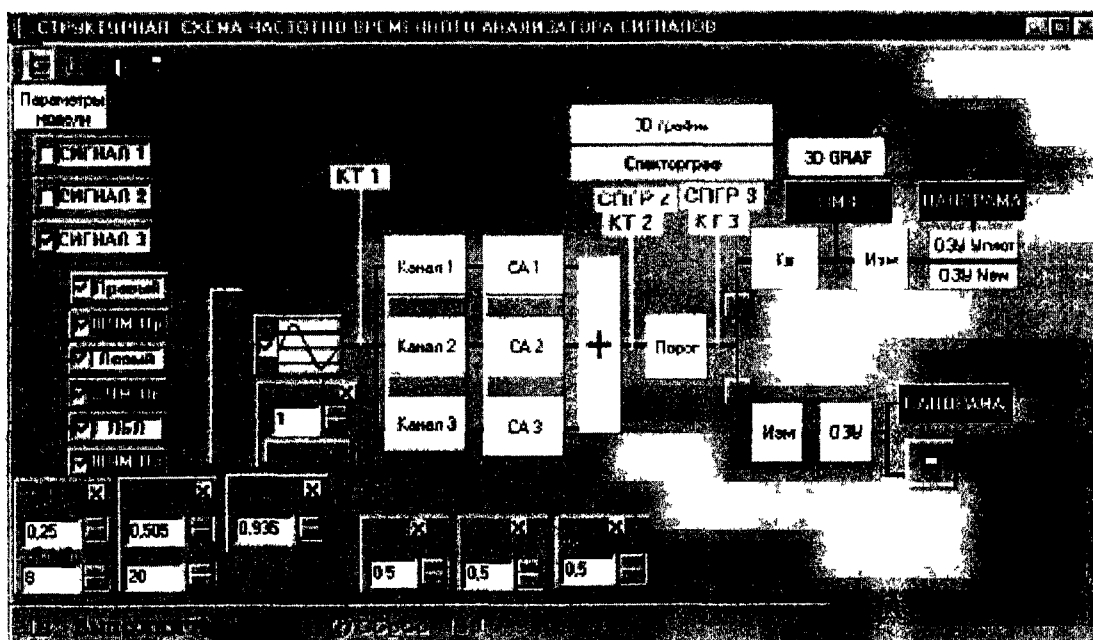


Рис. 1. Структурная схема ИММ моноимпульсного пеленгатора с обработкой сигналов в ЧВА.

АНАЛИЗ МОНОИМПУЛЬСНОГО ПЕЛЕНГАТОРА С ОБРАБОТКОЙ ИНФОРМАЦИИ В ЧАСТОТНО-ВРЕМЕННОМ АНАЛИЗАТОРЕ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Результаты исследования показали, что при обработке сигналов на фоне собственных шумов наличие полосового ограничителя в приемном тракте с ростом амплитуды сигнала приводит к появлению нечетных гармоник, что проявляется при обработке в широкополосном спектрально-временном анализаторе. Учитывая различия в распределении амплитуд по гармоникам, сигналы можно отсеleccionировать после обработки в амплитудном квантователе на выходе ЧВА.

Как известно, отношение сигнал/шум на выходе ограничителя можно найти из следующего соотношения:

$$\left(\frac{P_c}{P_{ш}}\right)_{вых} = \left(\frac{P_c}{P_{ш}}\right)_{вх} \cdot \frac{1 + 2 \cdot (P_c / P_{ш})_{вх}}{4 / \pi + (P_c / P_{ш})_{вх}}, \quad (1)$$

где $(P_c/P_{ш})_{вх}$ – отношение сигнал/шум на входе полосового ограничителя.

При большом значении $(P_c/P_{ш})_{вх}$

$$\left(\frac{P_c}{P_{ш}}\right)_{вых} = 2 \cdot \left(\frac{P_c}{P_{ш}}\right)_{вх} \quad (2)$$

происходит подавление слабого шумового сигнала доминирующим сигналом не более, чем в два раза. При этом соотношение спектральных плотностей шума сохраняется, если доминирующий сигнал совпадает с шумом во времени и превышает его, хотя бы на один-два децибела. Всегда следует иметь в виду, что коэффициент передачи ограничителя по отношению к меньшему (меньшим) сигналу (сигналам) обратно пропорционален уровню большего сигнала и, следовательно, он действует как вычислитель их отношения. При этом для разделения сигналов на выходе ЧВА естественно использовать их частотное кодирование. Однако нужно также отметить, что при прохождении через ограничитель ансамбля сигналов доминирующий сигнал будет оказывать маскирующее воздействие на все сигналы, совпадающие с ним по времени [2].

Таким образом, использование ограничителя в широкополосном тракте обеспечивает согласование динамического диапазона входных сигналов с растром АЦП на выходе ЧВА при малом числе уровней квантования. Однако необходимо иметь в виду, что при этом возможно появление комбинационных составляющих, связанных с гармониками доминирующего сигнала, а сам доминирующий сигнал оказывает маскирующее воздействие на слабый сигнал ансамбля, совпадающий с ним по времени. Эти особенности необходимо учитывать при оценке характеристик моноимпульсного пеленгатора, в котором сравнение амплитуд сигналов осуществляется на выходе ЧВА.

Рассмотрим основные принципы построения амплитудного моноимпульсного пеленгатора (АМП) при использовании метода частотного уплотнения сигналов на выходах антенных каналов и их нормировки в общем ограничителе, а также оценим их практическую реализуемость при обработке совокупного сигнала в одном широкополосном ЧВА.

Главным здесь является амплитудная идентичность каналов, степень которой определяется свойствами антенн, а при малых сигналах – также отношением сигнал/шум. С учетом скорости протекания процессов в ЧВА немаловажным фактором является идентичность ГВЗ сигналов в динамическом диапазоне входных сигналов, которая необходима как с точки зрения совмещения сигналов при решении задачи их нормировки в общем ограничителе на входе ЧВА, так и совмещения спектров этих сигналов на выходе ЧВА для вычисления отношений амплитуд на выходе системы квантования с малым числом уровней, которые в общем случае нелинейно связаны с аналогичными отношениями амплитуд на выходе соответствующих антенн АМП.

Поэтому определяющим фактором является процесс нормировки амплитуд сигналов моноимпульсных антенн, с помощью которого при заданном уровне ограничения должно обеспечиваться согласование динамического диапазона выходных сигналов ЧВА и раstra малоразрядной системы амплитудного квантования этих сигналов.

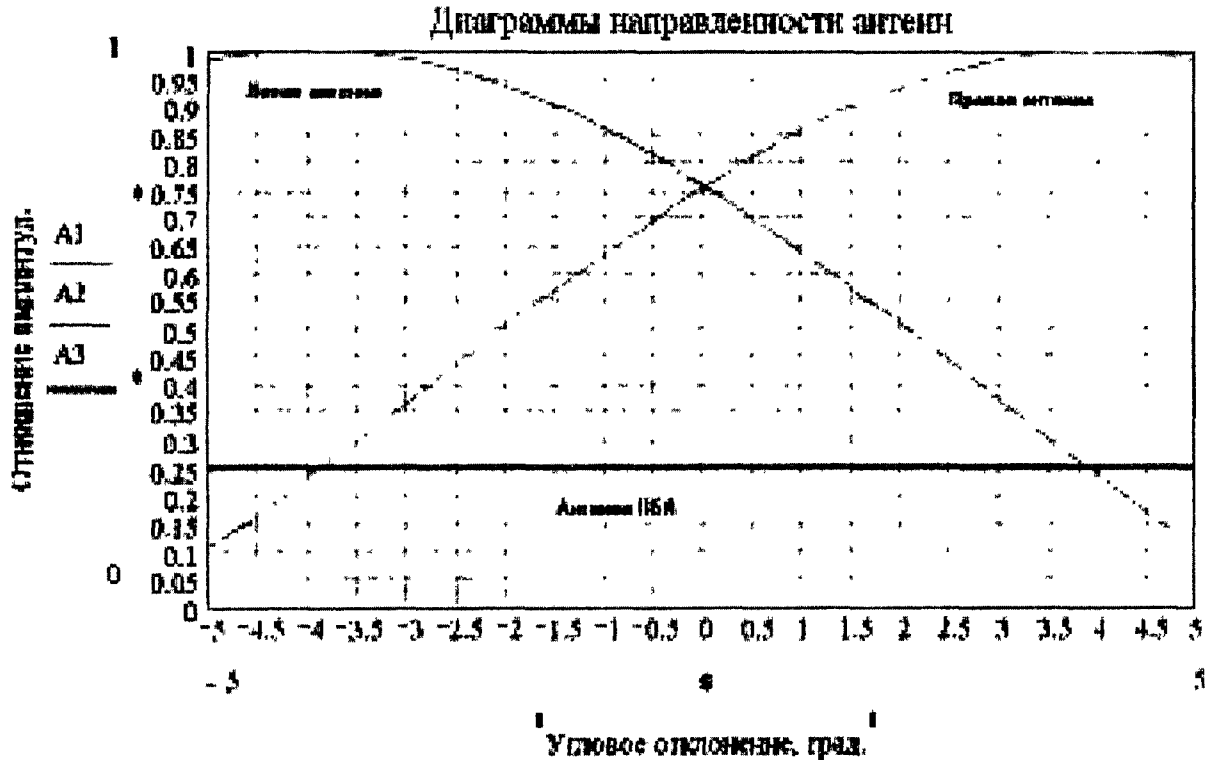


Рис. 2. Соотношение амплитуд сигналов на выходе антенн амплитудного моноимпульсного пеленгатора относительно уровня сигналов антенны системы ПБЛ в области равносигнального направления.

На рисунках 2-4 приведены результаты математического моделирования типовых характеристик антенн АМП с шириной главного лепестка (ГЛ) 8° и уровнем пересечения лучей $0,75$ ($-2,5$ дБ) в равносигнальном направлении (РСН). Диаграмма направленности (ДН) системы подавления боковых лепестков (ПБЛ) (рис. 2, рис. 4) обеспечивает перекрытие ближних боковых лепестков (БЛ) по уровню $0,25$ (-12 дБ), что позволяет обеспечить зону углового дискриминатора $\pm 3,5^\circ$ относительно РСН. Как видно из рис. 3, это соответствует отношению амплитуд в такой зоне ± 9 дБ. Следовательно, крутизна характеристики углового дискриминатора для выбранных параметров антенн составляет величину $S_{уд} = 0,353$ градус/дБ. Для вычисления угловых отклонений в зоне дискриминатора с использованием данных графика (рис. 4) распределение уровней квантования должно осуществляться в логарифмическом масштабе. Калибровка шкалы квантователя амплитуд оказывается различной для РСН и отклонений в соотношениях амплитуд более чем на ± 3 дБ ($\pm 1^\circ$) и, кроме того, зависящей от ширины спектра (числа разрешаемых спектральных линий) обрабатываемых сигналов на интервале анализа в ЧВА, а это число, в свою очередь, связано с превышением уровней сигналов различных антенн над порогом обнаружения. При малых отношениях сигнал/шум, когда уровень сигнала антенны ПБЛ близок к пороговому, начинает сказываться эффект нормировки сигналов в ограничителе по собственным шумам.

АНАЛИЗ МОНОИМПУЛЬСНОГО ПЕЛЕНГАТОРА С ОБРАБОТКОЙ ИНФОРМАЦИИ В ЧАСТОТНО-ВРЕМЕННОМ АНАЛИЗАТОРЕ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ



Рис. 3. Логарифм отношения амплитуд в зоне углового дискриминатора.



Рис. 4. Соотношение амплитуд сигналов на выходе антенн амплитудного моноимпульсного пеленгатора относительно уровня сигналов антенны системы ПБЛ в области равносигнального направления и ближних боковых лепестков.

В связи с этим разработка алгоритмов оценки угловой координаты методом определения отношений амплитуд спектров ограниченных выборок сигналов на выходе ЧВА и инвариантных к виду модуляции сигналов является в общей постановке неразрешимой задачей ввиду ее нелинейности, многовариантности и сложности математической формализации.

Выход из этого положения можно найти, если применить кусочно-линейную аппроксимацию в характерных точках областей оценки углового положения ИРИ относительно РСН. Для этого необходимо учесть свойства (амплитуду и ширину спектра) и положение в этой области доминирующего сигнала, идентифицированного с его приемной антенной. Далее при помощи ИММ АМП найти коэффициенты пропорциональности, которые связывают их с константами приемных антенн: уровнями пересечения диаграмм направленности трех антенн и крутизной углового дискриминатора, а также выделить признаки положения пеленгуемого ИРИ в главных лучах или в области боковых лепестков. Высказанные соображения подтверждены результатами ИММ.

В целом по результатам выполненного исследования можно сделать вывод о том, что поиск путей программно-аппаратной реализации трехчастотного уплотнения каналов в ЧВА должен составлять основные направления дальнейшего развития ИММ ЧВА – ПМВ как составной части всего комплекса пассивной локации.

Список литературы

1. Леонов А.И. , Фомичёв К.И. Моноимпульсная радиолокация. – М.: Советское радио, 1970.
2. Скосырев В.Н. Моноимпульсная амплитудная корреляционная пеленгация целей радиолокаторами ЗРК // Вопросы радиоэлектроники, серия РЛТ, вып. 13, 1990.

ANALYSIS OF MONOPULSE DIRECTION FINDER WITH DATA PROCESSING IN THE FREQUENCY-TIME ANALYZER BASED ON OF MATHEMATICAL SIMULATION

Y.N. Sedyshev

Spez-Radio RPE JSC

Promyshlennaya 4, Belgorod 308023, Russia

R.K. Davletkaliev, J.E. Polenova

Belgorod State University,

Pobedy 85, Belgorod 308015, Russia

A mathematical model of frequency-time analyzer with fast spectrum analysis is presented and developed for amplitude direction finding application. A comprehensive system analysis of space-time processing of emitter signals on the basis of mathematical simulation is carried out.