

УДК 623.681.93

МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНАЯ РЛС В РЕЖИМЕ СОПРОВОЖДЕНИЯ ПРИ ВРАЩАЮЩЕМСЯ И НЕПОДВИЖНОМ СЕКТОРАХ ЭЛЕКТРОННОГО СКАНИРОВАНИЯ

К.т.н. О.Л. Смирнов¹, к.т.н. О.Н. Ставицкий¹, к.т.н. А.А. Наконечный¹, С.С. Горельшев²

1. Харьковский университет Воздушных Сил имени Ивана Кожедуба

2. Московский физико-технический институт, г.Москва, Россия

Рассматривается работа многофункциональной РЛС в режиме сопровождения цели при вращающемся и неподвижном секторах электронного сканирования. Анализируются характеристики РЛС, необходимые для реализации указанного режима в обоих случаях. На иллюстративном примере проводится качественная и количественная оценка пропускной способности РЛС при различных видах обзора пространства.

Розглядається робота багатофункціональної РЛС в режимі супроводу цілі при оберттовому і нерухомому секторах електронного сканування. Анализуються характеристики РЛС, які необхідні для реалізації зазначеного режиму в обох випадках. На ілюстративному прикладі проводиться якісна і кількісна оцінка пропускної здатності РЛС при різних видах огляду простору.

The article considers work of multifunction radar target tracking mode with a rotating and a stationary sector electronic scanning. Analyzes the characteristics of radar necessary for the implementation of this mode in both cases. In an illustrative example of a qualitative and quantitative assessment of the capacity of the radar for different types of viewing space.

Ключевые слова: многофункциональная РЛС, режим сопровождения, адаптивное управление, сектор сканирования.

Постановка проблемы и анализ последних исследований и публикаций.

Режим сопровождения многофункциональной радиолокационной станции (МФ РЛС) представляет собой совокупность правил, определяющих взаимодействие основных устройств РЛС и алгоритмов её управляющего вычислительного комплекса при решении задачи сопровождения траекторий ранее обнаруженных в заданной области пространства воздушных целей [1].

МФ РЛС с фазированной антенной решёткой (ФАР) реализуют два вида обзора заданной области пространства – круговой (путём механического вращения ФАР по азимуту с одновременным электронным сканированием лучом диаграммы направленности антенны (ДНА) по углу места) и секторный (при неподвижной ФАР, осуществляющей электронное сканирование лучом ДНА по обем указанным координатам). Наличие ФАР обеспечивает также принципиальную возможность применения оптимального управления рассматриваемым режимом, которое заключается в целенаправленном изменении его параметров для достижения требуемых значений

соответствующих показателей качества [1, 2].

Связь между характеристиками основных устройств МФ РЛС и подлежащими оптимизации параметрами режима сопровождения может быть установлена посредством уравнения радиолокации, которое описывает энергетические соотношения в системе "РЛС-цель" [3, 4]:

$$\frac{E_c}{H} = \frac{G_a^2 \lambda^2 \sigma_c E_{ii}}{(4\pi)^3 N_{ш} k T_0 R^4} \quad (1)$$

где E_c – энергия принятого сигнала, Дж; H – спектральная плотность шума измерений, Вт/Гц; G_a – коэффициент усиления приемо-передающей антенны РЛС, дБ; λ – длина волны излучения РЛС, м; σ_c – эффективная поверхность рассеивания (ЭПР) цели, м²; E_{ii} – энергия зондирующего сигнала, Дж; $N_{ш}$ – коэффициент шума приёмника РЛС, дБ; k – постоянная Больцмана, Дж/град; T_0 – опорная температура, град; R – дальность до сопровождаемой цели, м.

Отношение сигнал/шум E_c/H определяет величину ошибки одиночных измерений оцениваемой координаты сопровождаемой цели, поэтому управление рассматриваемым режимом МФ РЛС фактически сводится к расчёту длительности такта измерения координат цели (объёма пачки зондирующих сигналов) и периода повторения этого такта, которые обеспечивают получение требуемой точности оценки координат обслуживаемой цели к заданному временному или пространственному рубежу [4-7].

Классические принципы управления режимом сопровождения МФ РЛС. Традиционные способы управления рассматриваемым режимом, основанные на использовании ограниченной выборки измерений оцениваемой координаты сопровождаемой цели или на уравнениях оптимальной линейной рекуррентной фильтрации параметров её траектории, предполагают, что в течение анализируемого временного отрезка (интервала сопровождения) отношение сигнал/шум в канале измерений РЛС будет постоянным. Результатом такого управления является применение фиксированного значения длительности такта измерения координат сопровождаемой цели, период повторения которого обычно равен периоду обзора РЛС [2, 8].

Вместе с тем фиксированный период обновления данных по обслуживаемой цели позволяет получить требуемые точностные характеристики выдаваемой РЛС

координатной информации только в случае равномерного и прямолинейного движения этой цели [6, 8, 9]. Далее, предположение о постоянстве отношения E_c/N эквивалентно тому, что спектральная плотность шума измерений координат N также должна считаться постоянной. Однако анализ уравнения (1) показывает, что закон изменения величины N описывается соотношением вида [5, 10]

$$N = N_0(R/R_0)^4, \quad (2)$$

где N_0 – уровень шума на стандартной дальности R_0 , при котором отношение сигнал/шум равно единице. Следовательно, уровень шума в канале измерений РЛС зависит от пространственного расположения цели в зоне её обзора и предположение о его постоянстве также не соответствует действительности.

Традиционный подход к построению алгоритмов управления рассматриваемым режимом не обеспечивает заданной эффективности этого управления не только при сопровождении маневрирующей цели, но и при значительном диапазоне её перемещений по зоне обзора МФ РЛС.

Отметим, что в настоящее время существуют различные варианты решения указанных выше проблем. Например, постоянство отношения сигнал/шум при изменении дальности до сопровождаемой цели может быть достигнуто путём выбора соответствующих параметров зондирующего сигнала – длительности импульса и мощности излучения РЛС, а для обслуживания маневрирующей цели возможно применение различных модификаций используемых алгоритмов управления, позволяющих учесть изменение характера её движения [1-3, 6-9]. Однако разработка закона управления режимом сопровождения РЛС, реализующего т.н. “активное сопровождение” (применение переменных значений периода обновления данных по сопровождаемой цели и времени её облучения), в рамках классического подхода к этому вопросу практически неосуществима [8, 9].

Таким образом, целью данной статьи является поиск и обоснование путей обеспечения заданной эффективности управления МФ РЛС в режиме сопровождения маневрирующей цели при значительном диапазоне её перемещений по зоне обзора.

Изложение основного материала исследований.

Адаптивное управление режимом сопровождения МФ РЛС. Одним из способов разрешения сложившейся ситуации является применение положений линейной теории статистически оптимальных оценок и управления [10], согласно которым эволюция оцениваемой координаты сопровождаемой цели моделируется как линейная система с непрерывным временем, а её измерения являются результатом дискретизации соответствующего непрерывного сигнала, поступающего на вход канала измерений РЛС. При этом как шум этих измерений, так и шум маневрирования, учитывающий возмущение параметров траектории цели, обусловленное её маневром, представляются в виде гауссовских случайных процессов.

Использование подобного подхода в работе [11] позволило описать в общем виде закон управления

режимом сопровождения, адаптивный к изменению уровней шумов в канале измерений РЛС и в модели динамики обслуживаемой цели. Рассчитанные согласно этому закону параметры рассматриваемого режима (длительность такта измерения координат цели и период его повторения) обеспечивают минимально возможное значение ошибки сопровождения при заданных характеристиках цели и РЛС.

Вместе с тем на практике обычно требуется обеспечение не минимальной, а требуемой величины ошибки сопровождения. В такой формулировке задача поиска оптимальных значений параметров исследуемого режима рассмотрена в [12]. Показано, что в этом случае соответствующее выражение для определения длительности такта измерений τ имеет следующий вид:

$$\tau = \tau_0 + GH \left[\frac{\Sigma_{mp}^2}{T_{обн}} - \Sigma_{mp} G \right]^{-1}, \quad (3)$$

где τ_0 – непроизводительные потери времени в такте измерения, с; G – интенсивность шума модели динамики цели, m^2/c ; N – интенсивность шума измерений, m^2/c ; Σ_{mp} – требуемая величина дисперсии ошибки оценки координат сопровождаемой цели, m^2 ; $T_{обн}$ – период обновления данных по сопровождаемой цели, с.

При вращающемся секторе электронного сканирования значение $T_{обн}$ равно принятому в данных условиях целевой и помеховой обстановки периоду обзора $T_{обз}$, а для работы в неподвижном секторе электронного сканирования возможно использование переменного периода обновления данных по каждой сопровождаемой цели [1, 2, 7-9]. Таким образом, искомые параметры режима сопровождения будут существенно различаться в зависимости от способа обзора пространства, реализуемого рассматриваемой МФ РЛС.

Отметим, что эквивалентность величин N в выражениях (2) и (3) обеспечивается использованием коэффициента, учитывающего взаимную зависимость между законом изменения рассматриваемой ошибки во времени и её частотным спектром [13]:

$$K = c^2 / (4\Delta f^3 E_n),$$

где K – коэффициент пересчёта, $m^2/Вт$; c – скорость света, m/c ; Δf – ширина полосы пропускания канала измерений РЛС, Гц.

Как было указано выше, эффективность управления должна оцениваться путём расчёта соответствующих показателей качества. Применительно к МФ РЛС как информационному средству таким показателем может служить её пропускная способность в режиме сопровождения [6, 9].

Оценка пропускной способности МФ РЛС в режиме сопровождения: иллюстративный пример. Пропускная способность МФ РЛС в режиме сопровождения представляет собой плотность потока целей, обслуживаемых рассматриваемой РЛС с заданной точностью [14].

Характеристики РЛС, которые определяют величину её пропускной способности, наиболее наглядно

можно оценить с помощью иллюстративного примера, позволяющего провести расчёт искомого параметра при различных видах обзора пространства. Используем гипотетическую обстановку типового воздушного налёта и сформулируем требования к МФ РЛС, соответствующие такой обстановке.

Методика расчёта. Под методикой расчёта пропускной способности МФ РЛС будем понимать совокупность допущений и математических выражений, позволяющих последовательно найти искомые характеристики рассматриваемой РЛС.

Пусть МФ РЛС имеет возможность осуществлять как круговой, так и секторный обзор по азимуту при одновременном электронном сканировании по углу места. Секторный обзор пространства используется в случае, когда полоса налёта лежит в ограниченном азимутальном направлении, или при назначении РЛС специального (например, ракетаопасного) сектора ответственности. Кроме того, МФ РЛС осуществляет работу в заданном секторе пространства при одновременной реализации, помимо режима сопровождения воздушных целей, режима наведения зенитных управляемых ракет (ЗУР) на некоторые из них [15].

Рубеж выдачи информации. Закон управления режимом сопровождения МФ РЛС вида (3) обеспечивает возможность получения требуемой траекторной информации по сопровождаемой цели за однократное (однотактовое) обращение к ней [12]. Следовательно, рубеж выдачи этой информации R может быть принят равным дальней границе зоны поражения ряда существующих и перспективных огневых средств системы противовоздушной /противоракетной обороны (ПВО/ПРО), т.е. составлять, например, 100 км [15].

Уравнение дальности. Выражение (1) связывает между собой характеристики цели и оптимизируемые параметры РЛС при некоторых начальных предпосылках. Пусть требуемая точность сопровождения цели на дальности R=100 км достигается при отношении сигнал/шум $E_c/H=18$ дБ [16]. Тогда стандартная дальность R_0 будет рассчитываться как:

$$R_0 = \sqrt[4]{\frac{G_a^2 \lambda^2 \sigma_{ц} E_{н}}{(4\pi)^3 N_{ш} k T_0}}, \quad (4)$$

где $E_{н}$ – энергия зондирующего сигнала, определяемая из уравнения (1) при заданных величинах R и E_c/H .

В этом случае соответствующий уровень шума H_0 равен:

$$H_0 = \frac{(4\pi)^3 N_{ш} k T_0 R_0^4}{G_a^2 \lambda^2 \sigma_{ц}}, \quad (5)$$

Интенсивность шума маневрирования. Маневренные возможности цели характеризуют её способность по изменению направления и/или величины своего вектора скорости [6]. Эти изменения в выражении (3) учитываются посредством параметра G, который фактически представляет собой спектральную плотность шума маневрирования [12]:

$$G = \sigma_{\eta}^2 / \Delta f.$$

Величина σ_{η}^2 есть дисперсия интенсивности манёвра g_m , которая численно принимается кратной ускорению свободного падения [6]. Очевидно, что интенсивность манёвра определяет величину возможного изменения скорости цели за данное время. Предположим, что длительность анализируемого временного интервала равна периоду обзора $T_{обз}$, тогда искомая интенсивность шума маневрирования (интенсивность шума модели динамики цели) G может быть найдена следующим образом:

$$G = (g_m T_{обз})^2 / \Delta f. \quad (6)$$

Период обновления данных. Пусть точность информации, которую выдаёт рассматриваемая МФ РЛС в режиме сопровождения, должна обеспечивать заданную величину ошибки наведения ЗУР с вероятностью 0,95. В этом случае выражение для определения значения $T_{обн}$ с учётом взаимосвязи между частотой и периодом обновления информации запишется как [7, 20]:

$$T_{обн} = 0,19 \sqrt{\frac{\Sigma_{тр}^{1/2}(\theta/2)}{g_m}}, \quad (7)$$

где θ – ширина луча ДНА МФ РЛС в рассматриваемой плоскости, град.

Формирование такта измерения. Временная диаграмма работы МФ РЛС представляет собой непрерывное чередование тактов зондирования, предназначенных для реализации различных режимов. При этом такт, соответствующий режиму сопровождения (такт измерения согласно принятой в настоящей работе терминологии) формируется, как показано на рис.1 [7, 17, 18].

Время, расходуемое на установку луча ФАР в требуемом угловом направлении и автоматическую компенсацию помех, является непроизводительными потерями в такте измерения и может составлять, например, $\tau_0 = 300$ мкс [18].



Рис.1. Такт измерения координат сопровождаемой цели

Анализ рис. 1 позволяет сделать вывод о том, что из всего такта измерения часть времени используется для формирования собственно канала измерений и не входит непосредственно в сам процесс определения координат цели. Игнорирование этого факта при принятой математической модели системы "РЛС-цель" приводит к вырожденности решения рассматриваемой оптимизационной задачи – т.е. к проведению непрерывных измерений бесконечно малой длительности [19]. Действительно, законы адаптивного управления режимом сопровождения, полученные в работе [11], имеют подобный вид при $\tau_0 = 0$. Следует отметить, что в этих же условиях выражение (3) позволяет сформировать технически реализуемый такт измерения, отличающийся от оптимального лишь на величину одного слагаемого.

Сравнение пропускной способности МФ РЛС при круговом и секторном обзоре. Пусть в зоне обзора рассматриваемой МФ РЛС находятся только однотипные цели с ЭПР $\sigma_{ц} = 0,01 \text{ м}^2$. Её пропускная способность в рассматриваемом режиме в этом случае может быть рассчитана как [16]:

$$N_{ц} = T_{обн} / \tau, \quad (8)$$

где $N_{ц}$ – количество целей, сопровождаемых с требуемой точностью; τ – длительность такта измерения при соответствующем виде обзора, с.

Примем следующие значения используемых параметров РЛС и цели: $G_a = 40 \text{ дБ}$, $\lambda = 0,03 \text{ м}$, $N_{ш} = 10 \text{ дБ}$, $k = 1,38^{23} \text{ Дж/град}$; $T_0 = 290 \text{ К}$; $\Sigma_{тр} = 9 \text{ м}^2$, $T_{обз} = 1 \text{ с}$, $c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$; $\Delta f = 12,5 \text{ Гц}$, $g_m = 78,4 \text{ м/с}^2$, $\theta = 1^\circ$. С учётом того, что аналитический расчёт пропускной способности РЛС даёт завышение полученных оценок на 10-30% по сравнению с данными статистического моделирования [21], представим искомые результаты в следующем виде:

Таблица 1

Вид обзора пространства	$T_{обн}, \text{ с}$	$\tau, \text{ с}$	$N_{ц}, \text{ ед.}$
Круговой	1	0,0007446	940
Секторный	0,026281	0,0003117	59

Отметим, что приведённая в табл. 1 оценка количества одновременно сопровождаемых целей при круговом обзоре соответствует аналогичной характеристике большинства современных РЛС [22].

Выводы.

Адаптивное управление режимом сопровождения МФ РЛС, описываемое соотношением (3), является альтернативой традиционным принципам управления этим режимом, согласно которым длительность такта измерений координат цели и период его повторения являются постоянными величинами. Рассматриваемый в настоящей статье подход, основанный на положениях линейной теории статистически оптимальных оценок и управления, позволяет решить важную для практики задачу обеспечения требуемой точности сопровождения цели, интенсивно маневрирующей по всей зоне обзора МФ РЛС.

Наличие у рассматриваемой МФ РЛС двух видов обзора пространства (круговой и секторный) обуславливает возможность применения во втором случае переменного темпа обновления данных по сопровождаемой цели. При этом результаты аналитической оценки пропускной способности как основной информационной характеристики МФ РЛС показывают, что её значение существенно зависит от реализуемого вида обзора. Использование переменного темпа обновления данных (определяемого, например, в соответствии с выражением (7)) при неподвижном секторе электронного сканирования приводит к существенному снижению пропускной способности РЛС, поэтому такой вид обзора, согласно [20, 23, 24], целесообразно использовать только для приоритетного сопровождения наиболее опасных объектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Кузьмин С.З. Цифровая радиолокация. – Киев: КВЦ, 2000. – 428 с.
2. Этингтон Д.А., Карилас П.Дж., Райт Дж.Д. Многофункциональные вращающиеся РЛС с электронным сканированием для обзора воздушного пространства // ТИИЭР, 1985. – т. 73, № 2. – С. 199-216.
3. Конторов Д.С., Голубев-Новожилов Ю.С. Введение в радиолокационную системотехнику. – М.: Советское радио, 1971. – 368 с.
4. Справочник по радиолокации в 4-х т. Под ред. М. Скольника. Пер. с англ. под общей ред. К.Н. Трофимова. Том 1. Основы радиолокации. – М.: Советское радио, 1976. – 456 с.
5. Современная радиолокация (анализ, расчёт и проектирования систем) Пер. с англ. под ред. Ю.Б. Кобзарева. – М.: Советское радио, 1969. – 644 с.
6. Кузьмин С.З. Основы проектирования систем цифровой обработки радиолокационной информации. – М.: Радио и связь, 1986. – 352 с.
7. Федосов Е.А. и др. Динамическое проектирование систем управления автоматических маневренных летательных аппаратов. – М.: Машиностроение, 1997. – 336 с.
8. Ильчук А.Р., Канащенков А.И., Меркулов В.И., Самарин О.Ф., Слукин Г.П., Шуклин А.И. Алгоритмы автоматического радиолокационного сопровождения целей в режиме обзора // Радиотехника, 1999. - № 11. – С. 3-21.
9. Фарина А., Студер Ф. Цифровая обработка радиолокационной информации. Сопровождение целей. – М.: Радио и связь, 1993. – 320 с.
10. Медич Дж. Статистически оптимальные линейные оценки и управление. Пер. с англ. под ред. А.С. Шаталова. – М.: Энергия, 1973. – 440 с.
11. Симаранов С.Ю. Адаптивное управление параметрами режима сопровождения в многоканальных информационных системах // Техническая кибернетика, 1989. – №2. – С. 128-131.
12. Смирнов О.Л., Ставицкий О.Н., Наконечный А.А., Горельшев С.С. Адаптивное управление режимом сопровождения многофункциональной РЛС // Технология приборостроения, 2015. – №1. – С. 14-19.
13. Бартон Д., Варт Г. Справочник по радиолокационным измерениям. Пер. с англ. под ред. М.М. Вейсбейна. – М.: Советское радио, 1976. – 392 с.
14. Конторов Д.С., Голубев-Новожилов Ю.С. Введение в радиолокационную системотехнику. – М.: Советское радио, 1971. – 368 с.
15. Зенитные ракетные комплексы ПВО Сухолуных войск. Часть 1 // Техника и вооружение, 2003. – №6. – С. 29-40.
16. Бабкин Ю.М., Балагуровский В.А. Синтез многофункционального радиолокатора. – М.: МЭИ, 2006. – 108с.

17. Бобров Д.Ю., Доброжанский А.П., Зайцев Г.В., Маликов Ю.В., Цытин И.Б. Цифровая обработка сигналов в многофункциональных РЛС. Часть 1: Принципы разработки. Преобразование сигнала в цифровую форму // Цифровая обработка сигналов, 2001. – №4. – С. 2-11.

18. Бобров Д.Ю., Доброжанский А.П., Зайцев Г.В., Маликов Ю.В., Цытин И.Б. Цифровая обработка сигналов в многофункциональных РЛС. Часть 2: Алгоритмы обработки радиолокационных сигналов // Цифровая обработка сигналов, 2002. – №1. – С. 28-39.

19. Черноусько Ф.Л., Колмановский В.Б. Оптимальное управление при случайных возмущениях – М.: Наука, 1978. – 486 с.

20. Вишнякова Л.В., Кухтенко В.И. Система автоматизированного формирования облика зенитных

ракетных комплексов // Техническая кибернетика, 1993. – № 6. – С. 137-185.

21. Шишов Ю.А., Ворошилов В.А. Многоканальная радиолокация с временным разделением каналов. – М.: Радио и связь, 1987. – 144 с.

22. Балинин М., Даландин А. Состояние и перспективы развития американских наземных РЛС дальнего обнаружения воздушных целей // Зарубежное военное обозрение, 2016. – №1. – С.69-74.

23. Архангельский И.И., Афанасьев П.П. и др. Проектирование зенитных управляемых ракет. Под ред. Голубева И.С. и Светлова В.Г. – М.: МАИ, 2001. – 732 с.

24. Зенитные ракетные комплексы ПВО Сухопутных войск. Часть 2 // Техника и вооружение, 2003. – №7. – С. 1-20.

УДК 621.396.67

АНТЕННА ДЛЯ ПРИЕМА ИЗЛУЧЕНИЙ ПРОИЗВОЛЬНОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ В АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ ДИАГНОСТИКИ ПОДПОВЕРХНОСТНЫХ ОБЪЕКТОВ

Д.т.н. В. Д. Сахацкий, Д. В. Костенко, Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

Проведено исследование коаксиально-рупорной антенны для приема деполаризованных излучений, отраженных от подземных объектов. Экспериментально определены геометрические параметры антенны, при которых осуществляется эффективный прием излучений с произвольной поляризацией.

Досліджено коаксиально-рупорну антенну, яка приймає деполаризовані випромінювання, відбиті від підземних об'єктів. Експериментально знайдені геометричні параметри антени, при яких здійснюється ефективний прийом випромінювань з довільною поляризацією.

The study coaxial horn antenna for receiving depolarized radiation reflected from the ground-conjugated facilities. Experimentally determined Delena-geometrical parameters of the antenna, at which the effective reception of radiation from the pro-arbitrary polarization.

Ключевые слова: антенна, деполаризация, подповерхностный объект.

Постановка проблемы.

Для автоматического измерения и контроля параметров объектов в воздушных и подземных средах применяют различные методы и средства. Для диагностики дорожных покрытий, обнаружения и измерения параметров образующихся полостей под асфальтовым покрытием и других подповерхностных объектов в дорожно-строительной отрасли широко используют георадары. Они позволяют определять интересные параметры объекта контроля по характеристикам рассеяния электромагнитных волн на подземном объекте. Георадарные и другие системы измерения и контроля непосредственно располагаются в мобильных лабораториях и на больших скоростях движения этих лабораторий позволяют обследовать за

короткое время значительные участки автомобильных дорог [1].

В качестве приемо-передающих антенн в мобильных системах автоматического измерения и контроля автодорожных покрытий чаще всего используют рупорные антенны пирамидального типа. Пирамидальный рупор, как правило, излучает и принимает волны с линейной поляризацией. При облучении подповерхностных объектов из диэлектрических, проводящих и полупроводящих материалов, к тому же имеющих сложную геометрическую форму, отраженное излучение может изменить свою поляризацию. В этом случае пирамидальный рупор приемной системы, который настроен на прием волны той же поляризации, что и зондирующее излучение, может сам по себе ослабить уровень отраженного информационного сигнала и уменьшить такой параметр качества работы всей системы георадара, как отношение сигнала к шуму (помехи).

Для устранения такого эффекта целесообразно в контрольно-измерительных системах подповерхностного зондирования иметь приемную антенну, которая бы могла принимать отраженное от объекта излучение произвольной поляризации.

Анализ литературы и достижений.

Для определения координат и параметров разнообразных подповерхностных объектов применяют различные хорошо известные и апробированные методы и средства, которые имеют свои достоинства и недостатки. В частности, метод непрерывного излучения радиоволн с частотной модуляцией. В данном методе частота меняется по симметричному или несимметричному пилообразному закону. При этом возникающая в приемном тракте частота биений между опорным (зондирующим) и отраженным сигналами является функцией расстояния до объекта. Данный метод