



**Быков**  
**Михаил Анатольевич,**  
старший научный сотрудник ФГБУ «ЗЦНИИ»  
Минобороны России

## Пути и проблемы повышения точности работы наземных средств РТР при измерении координат излучающих средств СВЧ-диапазона, расположенных в условиях прямой видимости и дифракции

Радиотехнические средства разведки наземных целей занимают одно из ведущих мест в общей системе технических средств разведки Сухопутных войск.

Поэтому в настоящее время, как у нас, так и за рубежом, ведутся интенсивные разработки перспективных средств радиотехнической разведки (РТР) и целеуказания (ЦУ).

Как правило, комплексы РТР и ЦУ строятся на основе многопозиционной схемы. Многопозиционная схема пассивных средств РТР и ЦУ позволяет использовать различные методы определения координат источников радиоизлучения (ИРИ), а также их комбинации для повышения точности. Наиболее перспективными считаются разностно-временные (гиперболические) способы определения координат и их модификации, при этом резко снижаются требования к направленности приемных антенн и их размерам, возникает возможность полностью или частично отказаться от поиска по направлению на ИРИ. Работы в этой области ведутся как у нас в стране, так и за рубежом.

Тем не менее, совершенствование излучающих средств и переход на сложные, широкополосные и сверхширокополосные сигналы снижают энергетическую доступность сигналов ИРИ для разностно-дальномерных систем, ограничивая в значительной мере дальность обнаружения таких источников. Одним из путей повышения энергодоступности служит размещение и подъем приемной аппаратуры РТР на воздушных носителях. Однако использование воздушных носителей не всегда возможно в силу погодных и иных причин, налагающих ограничения на их использование.

Для наземных средств РТР основным, а зачастую и единственным путем увеличения дальности разведки сложных сигналов ИРИ является применение приемных устройств РТР с высоким энергетическим потенциа-

лом — в частности, пеленгаторов с узкими лучами диаграмм направленности антенн либо с антенными решетками.

В современных условиях требования по скорости обзора пространства противоречат требованию применения узкого по ширине луча антенн пеленгатора для получения наилучшей точности. Применение узких лепестков диаграммы направленности приемной антенны однозначно ведет к использованию антенных решеток на основе многоканального приема, которые в средствах РТР возможно строить с использованием компьютерной технологии в обработке принимаемого сигнала.

В настоящее время промышленность переходит к разработке такой наземной аппаратуры РТР, вынужденно закладывая в неё принципы, предусматривающие возможность введения поправок на условия распространения радиоволн на приземных трассах — т. е. заведомо возникают предпосылки получения недостаточной точности определения координат ИРИ.

Источниками погрешностей определения пеленга на ИРИ и, как следствие, возникновения ошибок определения координат их местоположения являются следующие факторы:

- 1) неоднородность среды распространения радиоволн: рефракция радиоволн в атмосфере, которая может иметь регулярный или случайный характер; отражение радиоволн от подстилающей поверхности и местных предметов, приводящее к искривлению их фазовых фронтов; дифракция радиоволн на неровностях земной поверхности, кромках лесных массивов и т. п.;
- 2) неидентичность приемно-усилительных трактов от антенн до фазометров и наличие вследствие этого неучтенных фазовых сдвигов;
- 3) внутренние шумы аппаратуры и внешние помехи.

Проведение научно-исследовательских работ (НИР) в области по-



**Макарищев**  
**Александр Витальевич,**  
научный сотрудник ФГБУ «З ЦНИИ»  
Минобороны России, подполковник



**Фролов**  
**Сергей Сергеевич,**  
заместитель начальника отдела —  
начальник лаборатории ФГБУ «З ЦНИИ»  
Минобороны России, к. т. н., майор



иска принципов построения средств РТР и ЦУ, учитывающих условия распространения радиоволн, до начала 2000-х годов запаздывало по отношению к началу соответствующих опытно-конструкторских работ (ОКР). В частности, результаты НИР, проводившейся Томским государственным университетом систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР) в рамках программы фундаментально-поисковых исследований по заказу ГРАУ МО РФ, не были включены в полной мере в ОКР, проводимую АО «НИИ» Вектор» (г. Санкт-Петербург) — из-за того, что НИР началась уже после начала ОКР, и результаты оказались пригодны лишь для модернизации уже созданного комплекса в последующем.

Однако по результатам НИР и на основе проведенных экспериментов были созданы алгоритмы, имеющие практическое значение при разработке перспективных наземных средств РТР, в частности:

- алгоритм статистической обработки результатов разностно-временных измерений сигналов, излученных сканирующей импульсной РЛС и принятых в разнесенных пунктах пространства, с учетом отражений радиоволн от наиболее значимых элементов рельефа местности. Алгоритм позволяет получить на закрытых трассах точность измерений, соизмеримую с получаемой на открытых. Согласно экспериментальным данным, возможно построение системы местоопределения источника радиоизлучения с погрешностью, не превосходящей (0,1–0,3) % от дальности до него;
- алгоритм весовой обработки сигналов, принятых на антенны с ортогональной поляризацией приема в фазовых и амплитудных пеленгаторах. По экспериментальным данным, среднеквадратическая погрешность пеленгования уменьшается в полтора-два раза при работе пеленгатора по сканирующему источнику радиоизлучения (до 0,1–0,15 градуса) при пеленговании фазовым методом;
- алгоритм устранения аномально больших ошибок пеленгования, вызванных интерференционными явлениями на трассе распространения радиоволн, в процессе решения неоднозначности фазовых измерений. В условиях проведенных экспериментов на открытых трассах СКО пеленгования фазовым методом уменьшилось в четыре раза;

- алгоритм обработки сигналов в многоканальной приемной установке, используемой одновременно для построения моноимпульсного пеленгатора и как пункт приема сигналов разностно-дальномерной системы. При этом пеленгаторы могут быть построены как моноимпульсные, то есть имеющие в своем составе два или более приемных канала, антенны которых в общем случае образуют антенную решетку. При использовании быстродействующей цифровой обработки сигналов вначале оценивается пеленг на ИРИ моноимпульсным методом, а затем на антенной решетке формируется диаграмма направленности, ориентированная на него главным лепестком, что приводит к повышению точности разностно-временных измерений как за счет увеличения отношения сигнал/шум, так и за счет селекции прямого сигнала на фоне отражений.

Таким образом, развитие цифровой техники и методов цифровой обработки сигналов на современном этапе позволяет применять новые подходы при построении аппаратуры РТР и учитывать условия распространения радиоволн в алгоритмах её работы.

Существенным недостатком пеленгационного и разностно-дальномерного методов местоопределения является тот факт, что для обеспечения достаточной точности они должны иметь два-три приёмных пункта, разнесённых от единиц до десятков километров друг от друга. Причем точность местоопределения ИРИ для разностно-дальномерного метода возрастает при увеличении базы измерений, то есть при увеличении дальности между приёмными пунктами. Между этими пунктами, образующими измерительную базу системы местоопределения, организуется линия радиосвязи, синхронизации и обмена информацией.

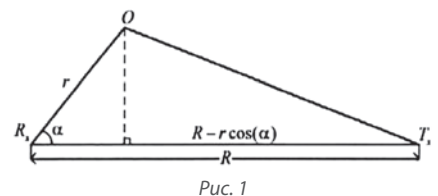
На практике это означает, что такая система содержит несколько мобильных технически сложных автономных станций (комплексов), которые должны быть размещены на определённых участках местности (взаимное геометрическое расположение пунктов такой системы также крайне важно для точности местоопределения). Требование к наличию беспроводной линии связи приводит к «засветке» пунктов системы, то есть исчезает главное достоинство пассивной системы — её скрытная работа.

Поэтому ищутся возможности уменьшить расстояние между

приёмными пунктами, в пределе вести разведку из одного приёмного пункта. В частности, это можно сделать, анализируя в точке приёма (наряду с прямым сигналом источника) отражения сигнала от объектов на местности.

Количество пунктов наблюдения можно уменьшить или в пределе перейти на однопозиционный вариант работы системы, если использовать для определения местоположения ИРИ сигналы, отраженные от объекта, местоположение которого точно известно. Объект, от которого отражаются сигналы ИРИ, а затем принимаются в пункте наблюдения, может выступать в качестве виртуального приемного пункта. Очевидно, что в таком случае измеряемым параметром является разность моментов прихода между сигналом ИРИ, пришедшим в пункт наблюдения, и тем же сигналом ИРИ, отраженным от объекта с известными координатами. Измеренная разность моментов прихода позволяет построить линию положения ИРИ и найти его координаты.

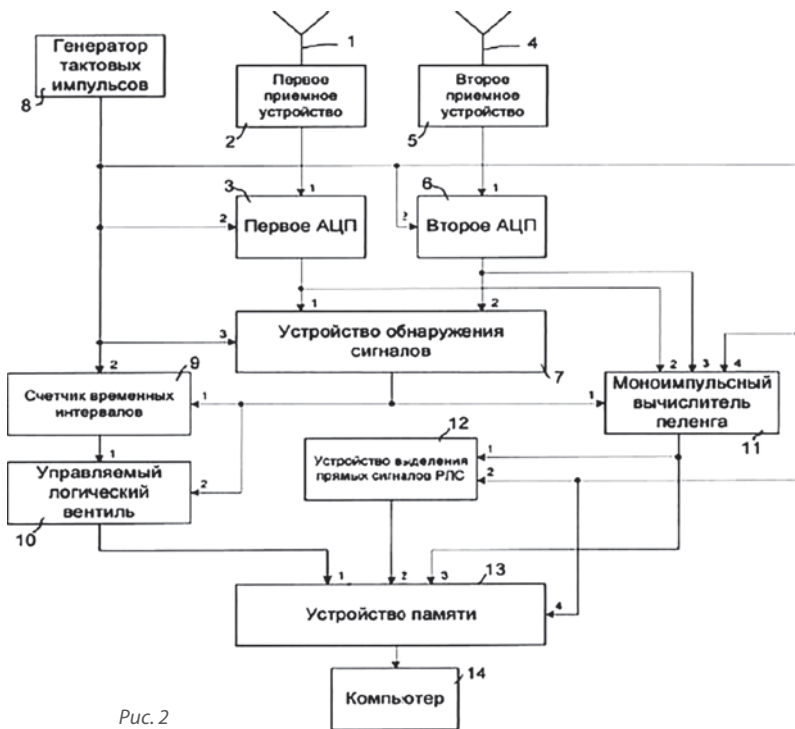
В простейшем случае устройство для измерения дальности до ИРИ состоит из приемного пункта направленной антенной  $R_x$ , который может принимать сигналы ИРИ  $T_x$  и сигналы, отраженные от объекта  $O$ . Геометрические соотношения в такой однопозиционной системе приведены на рис. 1.



Из рис. 1 видно, что координаты ИРИ могут быть определены при известном расстоянии  $r$  от отражающего объекта  $O$  до приемника  $R_x$ , угла  $\alpha$ , который равен разности углов, под которыми из точки расположения приемника видны ИРИ и отражающий объект, а также разности времен прихода прямого и отраженного сигналов  $t$ .

Сложность задачи заключается в разнообразии количества, форм и взаимного расположения протяженных и точечных объектов, встречающихся на местности, из-за чего чрезвычайно трудно однозначно определить местоположение объекта, от которого был отражен сигнал ИРИ.

В результате проведенных исследований ТУСУР был разработан принцип построения однопозиционного



Радиотехника В



Рубикон

измерителя координат по совокупности отраженных сигналов, разработанная функциональная схема устройства, реализующего однопозиционный метод местоопределения координат ИРИ, и методика определения дальности до ИРИ пассивной однопозиционной радиотехнической системой. Функциональная схема устройства, реализующего однопозиционный метод местоопределения координат ИРИ, приведена на рис. 2.

На схеме рис. 2 сигналы ИРИ принимаются антеннами 1 и 4 и поступают в приёмные устройства 2 и 5. В них производится перенос сигналов ИРИ на промежуточную частоту, после чего они переводятся в цифровую форму с помощью аналого-цифрового преобразователя (АЦП) 3 и 6. Дальнейшая обработка выполняется в цифровой форме.

При обнаружении сигналов ИРИ устройством 7 запускается счётчик 9, выполняющий роль измерителя задержек между прямыми и отражёнными сигналами ИРИ. В это же время производится расчёт пеленга на ИРИ в моноимпульсном вычислителе 11. Данные о пеленге на источник принимаемого сигнала передаются в устройство выделения прямых сигналов, которое формирует признак принадлежности принимаемого сигнала к одной из групп (прямые или отражённые сигналы от различных источников), а также в устройство памяти. В результате при обнаружении прямого или отражённых сигналов ИРИ про-

изводятся оценки пеленга, задержки и дальности до ИРИ.

Дальность до ИРИ оценивается путем сравнения действительных координат отражающих сигналы излучения объектов и занесенных в память компьютера с рассчитанными. Рассчитанные по формульным зависимостям координаты отражающего объекта определяются путем измерения разности углов прихода между прямым и отраженным сигналами, разности путей распространения сигналов (определяется измерением временной задержки сигналов) и зависят от переменного значения дальности между приемником и ИРИ. За оценку дальности принимается такое её значение, при которой разность между рассчитанными и заложенными в память компьютера координатами минимальна.

Методика определения дальности до ИРИ пассивной однопозиционной радиотехнической системой была проверена экспериментальным методом на трассах длиной до 18 км в условиях лесистой среднепересеченной местности. На 80% исследованных трасс погрешность определения местоположения ИРИ не превысила 2% от дистанции до него. Основными отражающими объектами на исследуемых трассах распространения радиоволн при отсутствии ярко выраженных искусственных или естественных отражающих объектов являлись кромки лесных массивов и пологие склоны.

Разработанный алгоритм предполагает использование в составе при-

емной аппаратуры вычислительных средств с цифровыми картами местности, на которой нанесены возможные отражатели, но не требует априорного знания, от каких именно объектов отразились сигналы ИРИ.

Таким образом, установлено, что для повышения точности наземных средств РТР необходимо в процессе измерения значений координат ИРИ вводить поправки, связанные с условиями распространения радиоволн на приземных трассах.

Разработанные за последнее время алгоритмы, учитывающие условия распространения радиоволн, имеют практическое значение при разработке перспективных наземных средств РТР.

Развитие современной аппаратуры и вычислительной техники позволяет перейти к решению принципиально новой задачи: от рассмотрения пересеченной местности как мешающего фактора в системах местоопределения перейти к её использованию для создания однопозиционных систем местоопределения.

Для придания моноимпульсному пеленгационному посту станции РТР свойств автономного измерения координат достаточно дооснастить его устройством селекции прямых сигналов РЛС, быстродействующим измерителем временных интервалов, а также цифровым устройством обработки сигналов с соответствующим программным обеспечением.