

КЛАССИФИКАЦИЯ, ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ И ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ РАДИОЛОКАЦИИ

Гофуров Ёдгорбек Кодирович

Старший преподаватель учебного центра военной подготовки
Национального университета Узбекистана имени Мирза Улугбека

АННОТАЦИЯ

В данной статье приведены основные определения, классификация, принцип действия радиолокации, способы обзора воздушного пространства, основные методы радиолокации, факторы, влияющие на дальности действия РЛС, влияние помех на работу РЛС, а также история развития радиолокации.

Ключевые слова: *Радиолокации, Радиолокаторы, радиолокационная станция, противовоздушная оборона, радиолокационных наблюдений и управления воздушным движением.*

ABSTRACT

This article presents the main definitions, classification, principle of operation of radiolocation, methods of viewing the airspace, the main methods of radiolocation, factors affecting the range of radar, the effect of interference on radar operation, as well as the history of the development of radar.

Keywords: *radiolocation, radar, radar station, air defense, radar surveillance and air traffic control.*

ВВЕДЕНИЕ

В современном этапе развития авиации радиолокация играет один из важнейшей роли и остаётся единственным средством управления авиацией.

В авиации радиолокацию принято называть «Уши и глаза» операторов радиолокационных постов по наблюдению за воздушным пространством, управлению и целеуказанию, определения координаты и опознаванию государственной принадлежности летательных аппаратов в воздухе и боевом управлении авиации в системе ПВО, а также для группы руководства полётами частей авиации и диспетчеров УВД гражданской авиации является единственным средством управления летательными аппаратами в воздушном пространстве и регулирования воздушным движением.

Условные сокращения:

ГРП – группа руководства полётами

ДРЛО – дальнее радиолокационное обнаружение

ПВО – противовоздушная оборона

РЛ – радиолокация

РЛС – радиолокационная станция

РЛУ – радиолокационное устройство

США – Соединенные Штаты Америки

УВД – управления воздушным движением

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Определения и классификация радиолокации

Радиолокация - область науки и техники, объединяющая методы и средства локации (обнаружения и измерения координат) и определения свойств различных объектов с помощью радиоволн. Близким и отчасти перекрывающимся термином является радионавигация, однако в радионавигации более активную роль играет объект, координаты которого измеряются, чаще всего это определение собственных координат. Основное техническое приспособление радиолокации - РЛС, англ. *radar*.

Другими словами радиолокацией называется – область радиоэлектроники, занимающаяся применением радиоволн для обнаружения, определения координат и измерения параметров движения различных объектов.

Все объекты наблюдения в РЛ называются целями. К ним относятся, например, корабли, самолеты, танки и т.д. операции выполняемые в РЛ для обнаружения целей, измерения их координат и параметров движения, в целом называются радиолокационным наблюдением. Частные задачи радиолокационных наблюдений решаются РЛУ (измерителями дальности, угловых координат, устройством селекции движущихся целей).

Совокупность функционально связанных РЛУ, предназначенных для решения какой-либо боевой задачи (обеспечение перехвата воздушных целей, прицеливание при действии по наземным целям и т.п.), называется радиолокационной системой. Техническая реализация радиолокационной системы в виде совокупности блоков или узлов обычно называется РЛС.

Различают активную, полуактивную, активную с пассивным ответом и пассивную радиолокацию.

Радиолокаторы различаются по используемому диапазону радиоволн, по виду зондирующего сигнала, числу применяемых каналов, числу и виду измеряемых координат, месту установки РЛС.

Выделяют два вида РЛ: **пассивная и активная радиолокация**

Пассивная РЛ основана на приёме собственного излучения объекта.

При активной РЛ радар излучает свой собственный зондирующий сигнал и принимает его отражённым от цели. В зависимости от параметров принятого сигнала определяются характеристики цели.

Активная РЛ бывает двух видов: с активным ответом и пассивным ответом:

С активным ответом - на объекте предполагается наличие радиопередатчика (ответчика), который излучает радиоволны в ответ на принятый сигнал. Активный ответ применяется для опознавания объектов (свой-чужой), дистанционного управления, а также для получения от них дополнительной информации: высота полета, количество топлива и тип объекта;

С пассивным ответом - запросный сигнал отражается от объекта и воспринимается в пункте приёма как ответный.

Для просмотра окружающего пространства РЛС использует различные способы обзора за счёт перемещения направленного луча антенны РЛС:

- круговой;
- секторный;
- обзор по винтовой линии;
- конический;
- по спирали;
- «V» обзор;
- линейный (самолёты ДРЛО типа **А-50** (Россия) или **Авакс** (США)).

В соответствии с видом излучения РЛС делятся на:

- РЛС непрерывного излучения;
- импульсные РЛС.

Принцип действия радиолокации

Радиолокация основана на следующих физических явлениях:

Радиоволны способны отражаться от границы раздела двух вещественных сред, различающихся своими электрическими свойствами. Поэтому, если объекты, электрические свойства которых отличаются от воздуха, облучать радиоволнами, то в окружающем пространстве возникают отраженные этими объектами сигналы. Мощность и некоторые другие характеристики отраженных сигналов зависят не только от мощности излучения, но и от электрических и геометрических свойств объектов. Поэтому, анализируя отраженные сигналы, можно судить о наличии отражающих объектов, различать одни объекты от других и оценивать их принадлежность к тому или иному классу объектов.

Радиоволны рассеиваются на встретившихся на пути их распространения электрических неоднородностях (объектами с другими электрическими свойствами, отличными от свойств среды распространения). При этом отражённая волна, также, как и собственно, излучение цели, позволяет обнаружить цель.

На больших расстояниях от источника излучения можно считать, что радиоволны распространяются прямолинейно и с постоянной скоростью, благодаря чему имеется возможность измерять дальность и угловые координаты цели (Отклонения от этих правил, справедливых только в первом приближении, изучает специальная отрасль радиотехники - Распространение радиоволн. В радиолокации эти отклонения приводят к ошибкам измерения).

Частота принятого сигнала отличается от частоты излучаемых колебаний при взаимном перемещении точек приёма и излучения (эффект Доплера), что позволяет измерять радиальные скорости движения цели относительно РЛС.

Пассивная РЛ использует излучение электромагнитных волн наблюдаемыми объектами, это может быть тепловое излучение, свойственное всем объектам, активное излучение, создаваемое техническими средствами объекта, или побочное излучение, создаваемое любыми объектами с работающими электрическими устройствами.

РЛС непрерывного излучения.

Используются в основном для определения радиальной скорости движущегося объекта (использует эффект Доплера). Достоинством РЛС такого типа является дешевизна и простота использования, однако в таких РЛС сильно затруднено измерение расстояния до объекта. Наибольшее распространение получил фазовый метод измерения дальности.

Пример: простейший радар для определения скорости автомобиля.

Импульсный метод радиолокации.

При импульсном методе радиолокации передатчики генерируют колебания в виде кратковременных импульсов, за которыми следуют сравнительно длительные паузы. Причём длительность паузы выбирается исходя из дальности действия РЛС: D_{max} .

Сущность метода состоит в следующем: Передающее устройство РЛС излучает энергию не непрерывно, а кратковременно, строго периодически повторяющимися импульсами, в паузах между которыми происходит приём отражённых импульсов приёмным устройством той же РЛС. Таким образом, импульсная работа РЛС даёт возможность разделить во времени мощный зондирующий импульс, излучаемый передатчиком и значительно менее

мощный эхо-сигнал. Измерение дальности до цели сводится к измерению отрезка времени между моментом излучения импульса и моментом приёма, то есть временем движения импульса до цели и обратно.

Дальность действия РЛС

Максимальная дальность действия РЛС зависит от ряда параметров и характеристик как антенной системы станции, мощности излучаемого сигнала, и чувствительности приёмника системы. В общем случае без учёта потерь мощности в атмосфере, помех и шумов дальность действия системы можно определить следующим образом:

- где: мощность генератора;
- коэффициент направленного действия антенны;
- эффективная площадь антенны;
- эффективная площадь рассеяния цели;
- минимальная чувствительность приёмника.

При наличии шумов и помех дальность действия РЛС уменьшается.

Влияние помех на работу РЛС

Работа нескольких РЛС в одном частотном диапазоне

На загруженных участках, где одновременно используются многочисленные РЛС вероятны совпадения частотных диапазонов. Это приводит к приему РЛС сигнала другой РЛС. В результате на экране появляются дополнительные точки, из-за своей геометрической правильности. Эффект может быть убран переходом на другую частоту.

Мнимое изображение

При отражении радиосигнала от массивного объекта возможно дальнейшее распространение к меньшим объектам с последующим отражением и попаданием в РЛС. Таким образом, путь, который прошел сигнал становится больше и на экране появляется мнимое изображение объекта, который на самом деле находится в другом месте. Такой эффект должен приниматься во внимание при нахождении вблизи крупных отражающих объектов, таких как мосты, гидросооружения и крупные суда.

Многokrатное отражение

При размещении РЛС на большом судне возможен эффект многократного отражения сигнала. Сигнал РЛС отражается от близкого объекта, частично попадает обратно в РЛС, а частично отражается от корпуса суда. Таких отражений может быть много, амплитуда при каждом отражении уменьшается и сигнал будет восприниматься до тех пор, пока не будет достигнута пороговая чувствительность приемника. На экране радара будут видны несколько

уменьшающихся с каждым разом объектов. Расстояние между ними пропорционально расстоянию от РЛС до объекта.

Влияние атмосферы

Атмосферные потери особенно велики в см и мм диапазонах и вызываются дождем, снегом и туманом, а в миллиметровом диапазоне также кислородом и парами воды. Наличие атмосферы приводит к искривлению траектории распространения радиоволн (явление рефракции). Характер рефракции зависит от изменения коэффициента преломления атмосферы при изменении высоты. Из-за этого траектория распространения радиоволн искривляется в сторону поверхности земли.

История создания и развития радиолокации

Явление отражения радиоволн было обнаружено в 1897 году. Александром Степановичем Поповым при организации радиосвязи между кораблями Балтийского флота. Он обнаружил эффект затенения передающей радиостанции и ослабление приема при прохождении корабля между приемником и передатчиком. А.С. Попов дал этому явлению следующее объяснение: "... попадаясь на пути электромагнитной волны, они (предметы) нарушают ее правильность, отчасти подобно тому, как действует на обыкновенную волну, распространяющуюся по поверхности воды, брекватер, отчасти вследствие интерференции волн и их возбужденных, с волнами источника".

Для того времени это было достаточно точное объяснение явления отражения радиоволн. Все последующие опыты по этому явлению по существу повторяли опыты А.С. Попова с дальнейшим уточнением особенностей отражения.

Практическое применение явления отражения радиоволн было осуществлено примерно 40-50 лет спустя открытия его А. С. Поповым. Большую роль в развитии РЛ сыграли советские ученые Папалекси, Берг, Введенский, Ицхоки и многие другие (каждый в своей области).

Эффект отражения радиоволн от твердых тел впервые обнаружил немецкий физик Генрих Герц в 1886 году. Использовать эффект на практике мешало рассеивание радиоволн: на объект локации их попадало меньше одной миллиардной части. Лишь в 1930-х годах, в связи с развитием авиации, ведущие страны мира начали исследовать возможность применения радиолокации для целей ПВО. Идея радиолокации была известна задолго до Второй Мировой войны и трудно назвать того, кто первым высказал её. По данным германских историков, первым, кто (в 1902 году) создал и успешно

испытал на судах, ходивших по Рейну, практически действующий образец того, что теперь называют «радиолокационная станция» (изобретатель называл её «телемобилоскоп»), был живший и работавший в Кёльне германский инженер Кристиан Хюльсмейер (встречается также написание и произношение Хюльсмайер). В 1904 году он получил патент на «Способ сигнализации об отдалённых объектах при помощи электрических волн». Но в разных странах традиционно чтут разных изобретателей радиолокации. Вообще же - её идея долго (с момента обнаружения эффекта) не находила воплощения в практической деятельности. Первое практическое применение радиолокации было реализовано в 1932 году в СССР в установке "Рапид". Первые в мире РЛС, принятые на вооружение и выпускавшиеся серийно, были в СССР с 1939 года.

Великобритания

Радары Великобритании Второй Мировой Войны англ. AI Mk. IV radar, англ. H2S, англ. "Monica" .

Советник премьер-министра Черчилля по науке, профессор Ф.А. Линдемманн (виконт лорд Черуэлл (англ.)), отозвался о разработке радиолокационного бомбардировочного прицела H2S коротко: «Это дешёвка». Между тем H2S дал британским бомбардировочным силам не только прицел для бомбометания при ограниченной видимости, но и навигационное средство. Установка РЛ взрывателей в снаряды снизила на порядок расход количества снарядов, необходимых для того, чтобы сбить один самолёт-снаряд «Фау-1» и интенсивность таких налетов значительно снизилась. К началу Второй Мировой Войны в Великобритании была развернута система РЛС Chain Home. История создания РЛС показана в британском документальном фильме The Secret War: "To See A Hundred Miles".

Германия

Для защиты городов от налетов бомбардировщиков немцы использовали зенитные батареи, управляемые станциями орудийной наводки (СОН) типа «Вюрцбург». Разведка союзников установила, что несущая частота этих станций равна 560 мегагерцам. Летом 1943 года бомбардировщики 8-ой американской воздушной армии были оснащены передатчиками типа «Карпет». Передатчики излучали помеху - спектр частот при средней частоте 560 мегагерц. В октябре 1943 года подвели первый итог: самолетов с «Карпетом» было сбито в два раза меньше, чем без него.

Из трех новых важнейших видов оружия второй мировой войны — реактивных снарядов, радарных установок и атомных бомб - большое влияние на ход войны оказала только радарная техника.

Генерал-лейтенант в отставке, инженер Эрих Шнейдер. «Итоги Второй мировой войны» СПб.: Полигон; М.: АСТ, 1998

Во время Второй Мировой Войны в Германии была развернута система РЛС «**Линия Каммхубера**».

Россия

В России осознание необходимости средств обнаружения авиации, свободных от недостатков звукового и оптического наблюдения, привела к разворачиванию исследований в области радиолокации. Идея, предложенная молодым артиллеристом П.К.Ощепковым, получила одобрение высшего командования наркома обороны СССР К.Е.Ворошилова и его заместителя - М. Н. Тухачевского.

В 1932 году на базе ЛФТИ был создан ЛЭФИ под руководством А.А. Чернышёва, в котором проводились исследовательские и опытно-конструкторские работы по радиолокации. В 1935 году ЛЭФИ был расформирован, а на его базе организован «закрытый» институт НИИ-9 с оборонной тематикой, включавшей и радиолокацию. Научным руководителем его стал М.А. Бонч-Бруевич. Работы по радиолокации были начаты и в УФТИ в Харькове. К началу войны усилиями учёных и инженеров ЛЭФИ, НИИ-9 и других организаций были созданы опытные наземные РЛС.

3 января 1934 года в СССР был успешно проведён эксперимент по обнаружению самолёта радиолокационным методом. Самолёт, летящий на высоте 150 метров, был обнаружен на дальности 600 метров от РЛС. Эксперимент был организован представителями Ленинградского института электротехники и Центральной радиолоборатории. В 1934 году маршал Тухачевский в письме правительству СССР написал: «Опыты по обнаружению самолётов с помощью электромагнитного луча подтвердили правильность положенного в основу принципа».

Первая опытная установка «Рапид» была опробована в том же году. Передатчик был установлен на крыше дома № 14 по Красноказарменной улице, Москва, приёмник — в районе посёлка Новогиреево; присутствовали М. Н. Тухачевский, Н. Н. Нагорный, М. В. Шулейкин. Аппаратуру демонстрировал П. К. Ощепков. В 1936 году советская сантиметровая РЛС «Буря» засекала самолёт с расстояния 10 километров.

Первые РЛС в СССР, принятые на вооружение РККА и выпускавшиеся серийно, были: РУС-1 — с 1939 года и РУС-2 — с 1940 года.

4 июля 1943 года в соответствии с Постановлением ГКО от № 3686сс «О радиолокации» был сформирован Совет по радиолокации при ГКО. Его инициаторами стали военный инженер М.М.Лобанов и учёный А. И. Берг.

США

В США одним из пионеров радиолокации был Джон Марчетти (англ.).

Основные факторы, ограничивающие технические характеристики РЛС

Основным фактором, ограничивающим технические характеристики РЛС, является малая мощность принимаемого сигнала. При этом мощность принимаемого сигнала убывает как четвёртая степень дальности (то есть, чтобы увеличить дальность действия локатора в 10 раз нужно увеличить мощность передатчика в 10 000 раз). Естественно, на этом пути быстро пришли к пределам, преодолеть которые было далеко не просто. Уже в самом начале развития был осознан тот факт, что имеет значение не сама мощность принимаемого сигнала, а его заметность на фоне шумов приёмника. Снижение шумов приёмника также было ограничено естественными шумами элементов приёмника, например тепловыми. Данный тупик был преодолен на пути усложнения методов обработки принятого сигнала и связанного с этим усложнения формы применяемых сигналов. Развитие РЛ как научной отрасли знаний шло одновременно с развитием кибернетики и теории информации, и потребовались бы специальные исследования, чтобы решить, где именно были получены первые результаты. Следует отметить появление понятия сигнала, который позволил отвлечься от конкретных физических процессов в приёмнике, таких как напряжение и ток, и позволил решать стоящие проблемы как математическую задачу о поиске наилучших функциональных преобразованиях функций времени.

Одной из первых работ в этой области была работа В. А. Котельникова об оптимальном приёме сигнала, то есть наилучшем в условиях шумов методе обработки сигнала. В результате было доказано, что качество приёма зависит не от мощности сигнала, а от его энергии, то есть произведения мощности на время, таким образом, появилась доказанная возможность увеличения дальности действия за счёт увеличения длительности сигналов, в пределах до непрерывного излучения. Значительным шагом вперед стало отчётливое применение в технике методов статистической теории решений (критерий Неймана-Пирсона) и принятие того факта, что исправное устройство может работать с определённой долей вероятности. Для того, чтобы радиолокационный сигнал при большой длительности позволял измерять

дальность и скорость с высокой точностью, потребовались сложные сигналы, в отличие от простых радиолокационных импульсов, изменяющие какие-либо характеристики в процессе генерации. Так, сигналы с линейной частотной модуляцией изменяют частоту колебаний в течение одного импульса, сигналы с фазовой манипуляцией скачкообразно изменяют фазу сигнала, обычно на 180° . При создании сложных сигналов было сформулировано понятие функции неопределённости сигнала, показывающей связь точности измерений дальности и скорости. Необходимость повышения точности измерения параметров стимулировало развитие различных методов фильтрации результатов измерений, например, методов оптимальной нелинейной фильтрации, которые явились обобщением фильтра Калмана на нелинейные задачи. В итоге всех этих разработок теоретическая РЛ оформилась как самостоятельная сильно математизированная отрасль знаний, в которой значительную роль имеют формализованные методы синтеза, то есть проектирование ведётся в известной мере «на кончике пера».

ВЫВОД

Основными моментами в противостоянии с авиацией были:

Применение для скрытия самолётов и вертолётов пассивных маскирующих помех в виде распыляемых в воздухе кусочков фольги, отражающей радиоволны. Ответом на это было внедрение в радиолокаторах систем селекции движущихся целей, которая на основе доплеровского эффекта отличает движущиеся самолёты от сравнительно неподвижной фольги.

Развитие технологий построения самолётов и кораблей, уменьшающих мощность отражённого назад к радиолокатору сигналов, получивших название **Стелс**. Для этого служат и специальные поглощающие покрытия, и специальная форма, отражающая падающую радиоволну не назад, а в другом направлении.

Восхищённый успехами советской науки и техники в области радиолокации, глава советского правительства Н. С. Хрущёв сказал, что: «Отныне мы - советские люди - способны в космосе попадать в комара»

Советская пропаганда приписывала открытие принципа радиолокации, также как и изобретение радио, А. С. Попову — преподавателю физики офицерских курсов в Кронштадте. Попов действительно проводил эксперименты в области распространения радиоволн и независимо от Герца (но на 11 лет позже его — только в 1897 году) обнаружил эффект влияния на радиосвязь проходившего между поддерживающими радиоконтакт судами третьего судна. В своем отчёте Попов указал на теоретическую возможность

использования эффекта для обнаружения удалённых объектов. В дальнейшем никаких работ в этом направлении он не вел (Kostenko, A. A., A. I. Nosich, and I. A. Tishchenko, "Radar Prehistory, Soviet Side, " *Proc. of IEEE APS International Symposium 2001*, vol.4. p. 44, 2003). Россия — родина слонов.

Источники:

1. Солощев О. Н., Слюсар В.И., Твердохлебов В. В. Фазовый метод измерения дальности на основе теории многоканального анализа.// Артиллерийское и стрелковое вооружение. – 2007. - № 2(23).- С. 29 – 32.
2. Радиолокация РЛС. seacom.ru.
3. Ханке Х. ЛЮДИ, корабли, океаны (пер. с нем.). - Ленинград: Судостроение, 1976. — С. 227—228.
4. Радары Великобритании.
5. Сюрпризы и разочарования большой войны.
6. Allied Scientists Won Radar War.
7. ЛЭФИ Поляков В.Т. «Посвящение в радиоэлектронику», М., РиС, ISBN 5-256-00077-2
8. Испытания в Евпатории, группа Б. К. Шембеля

REFERENCES

1. Erickson, John; «Radiolocation and the air defense problem: The design and development of Soviet Radar 1934-40», *Social Studies of Science*, vol. 2, pp. 241—263, 1972
2. Ширман Я.Д., Голиков В.Н., Бусыгин И.Н., Костин Г. А. Теоретические основы РЛ Ширман Я. Д. - М.: Советское радио, 1970. - 559 с.
3. Справочник по радиолокации Сколник М.И. - М., 2014. — 1352 с. — ISBN 978-5-94836-381-3.
4. Бакут П.А. Большаков И.А. Герасимов Б.М. Курикша А.А. Репин В.Г. Тартаковский Г.П., Широков В.В. Вопросы статистической теории радиолокации. - М.: Советское радио, 1963. – 423 с.
5. Большая советская энциклопедия // Под ред. А.М. Прохорова. В 30 т. 3-е изд. — М.: Сов. энциклопедия, 1969-78. Т. 21, 1975. 640 стр. Статья «РЛ»
6. Центральная радиолоборатория в Ленинграде Под ред. И. В. Бренёва. - М.: Советское радио, 1973.
7. Военно-исторический музей артиллерии, инженерных войск и войск связи. Коллекция документов генерал-лейтенанта М. М. Лобанова по истории развития радиолокационной техники. Ф. 52Р оп. № 13

8. Лобанов М.М. Из прошлого радиолокации: Краткий очерк. - М.: Воениздат, 1969. — 212 с. — 6500 экз.
9. Начало советской РЛ. — М.: Советское радио, 1975. 288 с.
10. Лобанов М.М. Мы - военные инженеры. -М.: Воениздат, 1977. — 223 с.
11. Лобанов М.М. Развитие советской радиолокационной техники. — М.: Воениздат, 1982. — 240 с. — 22 000 экз.
12. *Сиверс А. П., Суслов Н. А., Метельский В. И.* Основы радиолокации. — Л.: СудпромГиз, 1959. — 350 с. — (Учебное пособие для радиотехнических специальностей высших учебных заведений). — 25 500 экз.