Радиолокация: зарождение и развитие

А. В. Светлов

Пензенский государственный университет, Россия, 440026 г. Пенза, ул. Красная, 40

Аннотация. Приводится краткий обзор исторических этапов зарождения и развития радиолокационных систем от первых опытов до настоящего времени. Рассматриваются достижения в области радиолокации накануне и в годы Второй мировой войны в СССР, Германии, Великобритании и США, а также тенденции развития радиолокационных систем в настоящее время.

Ключевые слова: радиолокационные системы, развитие, тенденции.

Radiolocation: origin and development

A. V. Svetlov

Penza State University, 40 Krasnaya Street, 440026, Penza, Russia

Abstract. A brief review of historical stages of the origin and development of radar systems from the first experiments to the present time is given. Achievements in the field of radar on the eve and during the Second World War in the USSR, Germany, Britain, and the USA, as well as the development trends of radar systems at the present time are considered.

Key words: radar systems, development, trends.

С чего все начиналось

Термин «локация» означает определение местоположения объекта. Активная локация основана на излучении локатором зондирующего сигнала и приеме сигнала, отраженного от объекта. Пассивная локация основана на приеме сигналов, излучаемых самим объектом.

В зависимости от вида используемых сигналов различают:

- радиолокацию;
- оптическую локацию;
- тепловую локацию;
- звуковую локацию;
- гидролокацию [1, 2].

В зависимости от расстояний возможны «ближняя локация», «загоризонтная локация раннего предупреждения» и т.д. Хронологически первыми применяемыми на практике локаторами были появившиеся в годы Первой мировой войны приборы для обнаружения самолетов по звуку их двигателей. В Советской России звукоулавливатель самолетов (ЗУС) в виде четырех больших раструбов – рупоров (рис. 1) использовался в составе разработанных в 1930 г. приборов управления артиллерийским зенитным огнем (ПУАЗО). В состав ПУАЗО также входил полутораметровый электрический прожектор. Средства ПУАЗО располагались на поворотной платформе. Дальность обнаружения самолетов – от 7 км у первых моделей до 15 км у более поздних моделей.

Ультразвуковой гидролокатор появился в 1916 г. во Франции. С 1933 г. начали применять гидролокационные системы для поиска подводных лодок по шумам, создаваемым их винтами.

Действующие радиолокационные системы появились в 30-х гг. двадцатого столетия, причем вопрос о приоритете остается открытым, поскольку сразу в нескольких странах: Германии, Великобритании, США и СССР – одновременно велись глубоко засекреченные разработки в области радиолокации. Предпосылками для этих работ послужили следующие исторические факты.

Явление отражения радиоволн впервые наблюдал еще Генрих Герц в 1888 г. (рис. 2). Александр Степанович Попов (рис. 3) в 1897 г. во время опытов по радиосвязи между кораблями «Европа»

и «Африка» на Балтийском море зарегистрировал влияние на уровень принимаемого сигнала, оказываемое кораблем, пересекающим радиотрассу. Это явление впоследствии было использовано в радиолокационных системах, работающих «на просвет» и применяемых, например, для охраны входа в гавань.

Рис. 1. Звукоулавливатель самолетов

Рис. 2. Генрих Герц

Рис. 3. А. С. Попов

Первый патент на радиолокатор в 1904 г. получил немецкий изобретатель Кристиан Хюльсмайер (рис. 4). Устройство для обнаружения корабля по отраженным от него радиоволнам получило название «Телемобилоскоп».

При всем своем несовершенстве устройство, описанное в патентной заявке Хюльсмайера (рис. 5), содержало в себе основные элементы современного локатора: радиопередатчик, две вращающиеся антенны направленного действия, радиоприемник, воспринимавший отраженные объектами волны, световой или звуковой индикатор. Устройство прошло испытания, но до практического использования дело не дошло ввиду малой дальности обнаружения целей. Действующий макет (рис. 6) имел дальность действия 3 км, поскольку в качестве приемника-индикатора использовался когерер.

Попытка продолжить исследования Хюльсмайера была предпринята в России в 1914 г., но с началом Первой мировой войны работы были свернуты, поскольку проводивший их инженер был немцем.

Рис. 4. К. Хюльсмайер

Рис. 5. Патент Хюльсмайера

Рис. 6. Макет «Телемобилоскопа» К. Хюльсмайера

В 1922 г. американские военные инженеры проводили опыты по радиосвязи через реку Потомак. Во время испытаний по реке прошел корабль, и связь прервалась (как у А. С. Попова), что натолкнуло на мысль о применении радиоволн для обнаружения движущихся объектов путем интерференции незатухающих колебаний.

В 1924 г. англичане по отраженному непрерывному сигналу измерили высоту ионосферы, через год американцы то же сделали на импульсном сигнале.

В 1930 г. советские ученые Леонид Мандельштам и Николай Папалекси разработали теорию измерения расстояний с помощью интерференции волн.

Первые практические результаты в радиолокации получены в 1934 г. в СССР, Германии, Великобритании и США.

Зарождение и развитие радиолокации в СССР

В СССР разработкой радиотехнических средств оборонного назначения руководили М. А. Бонч-Бруевич (рис. 7) и А. И. Берг (рис. 8). В январе 1934 г. инженеры Центральной радиолaborатории Ю. К. Коровин, С. Н. Савин и В. А. Тропилло впервые в СССР экспериментально доказали практиче-

скую возможность радиообнаружения самолета с помощью отраженной от него электромагнитной волны. Первые успехи дали толчок к резкому ускорению исследований. Если в январе 1934 г. дальность обнаружения составляла всего 700 м, то к лету того же года она возросла до 5 км, а к началу 1935 г. – до 15 км.

Рис. 7. М. А. Бонч-Бруевич

Рис. 8. А. И. Берг

Для разработки радиолокационных систем была создана рабочая группа во главе с П. К. Ощепковым (рис. 9). После первых удачных экспериментов к работам по радиообнаружению самолетов была привлечена группа инженеров под руководством Б. К. Шембеля (рис. 10). 10 и 11 июля 1934 г. прошли испытания системы «Рapid», в состав которой входили генератор сигналов с длиной волны 4,7 м мощностью до 200 Вт, радиоприемник, приемная и передающая антенны в виде одиночных полуволновых вибраторов. Самолет обнаруживался в зоне радиусом до 3 км при высотах до 1 км по появлению в телефоне приемника биений, обусловленных интерференцией прямой и отраженной волн. В рамках проекта системы радиообнаружения самолетов «Электровизор» были разработаны опытные образцы нескольких радиопеленгаторов и радиоискателей с антеннами разных типов (рис. 11) [3].

Рис. 9. П. К. Ощепков

Рис. 10. Б. К. Шембель

В 1937 г., несмотря на большие успехи в исследованиях, П. К. Ощепков как человек близкий к маршалу Тухачевскому был арестован по ложному обвинению в контрреволюционной деятельности.

Работа над созданием отечественной РЛС была приостановлена. Бывшие сотрудники группы Ощепкова смогли вернуться к работе только после коллективного обращения группы военачальников к И. В. Сталину.

Рис. 11. Двухантенный радиоискатель «Буря». СССР, 1935 г.

В 1938 г. на основе идей П. К. Ощепкова была разработана опытная установка «Ревень», послужившая прототипом для первой отечественной серийной РЛС РУС-1 (радиоуправлятель самолетов). Принята на вооружение в 1940 г. Первое боевое применение – во время финской военной кампании 1939 – 1940 гг. Принцип действия РУС-1 (рис. 12) был основан на создании радиозавесы, при пересечении которой фиксируются биения, вызванные интерференцией прямой и отраженной волн.

Рис. 12. Первая отечественная серийная РЛС РУС-1

В июле 1940 г. было начато серийное производство первой отечественной импульсной радиолокационной станции дальнего обнаружения самолетов РУС-2, в 1941 г. усовершенствованная станция получила название «Редут». Разработкой РУС-2 руководил Ю.Б. Кобзарев (рис. 13), в группу разработчиков входили А. А. Малеев, П. А. Погорелко, Н. Я. Чернецов.

Технические характеристики РЛС РУС-2 (рис. 14): отдельные передающая и приемная антенны, установленные на крышах кабин-аппаратных, синхронно вращающихся вместе с сидящим внутри оператором со скоростью 1 об./мин; высота подъема антенны – 12 м; рабочая частота – 75 МГц; мощность излучения в импульсе – 70–120 кВт; антенны – директорные («волновой канал»); максимальная дальность обнаружения – 150 км.

Усовершенствованная РЛС «Редут» (рис. 15) имела одну вращающуюся приемо-передающую антенну на крыше неподвижной кабины. Максимальная дальность обнаружения – 200 км.

Рис. 13. Ю. Б. Кобзарев

Рис. 14. РЛС РУС-2

Рис. 15. РЛС «Редут» с вращающейся антенной

Несмотря на техническое несовершенство, РЛС «Редут» хорошо себя зарекомендовали в боевых условиях. В 1941 г. при обороне Москвы зенитная батарея, целеуказание которой давала РЛС, расходовала менее 100 снарядов для того, чтобы уничтожить или просто отогнать один вражеский самолет, в то время как при обычном заградительном огне зениток по секторам в темное время суток в среднем тратилось более 2700 снарядов.

Применение РЛС «Редут» сорвало все попытки внезапного нападения немецкой авиации на Кронштадт с целью уничтожения скопившихся там кораблей Балтийского флота, защищавших Ленинград с моря. Наиболее массированные налеты, в которых принимало участие до 400 немецких самолетов, происходили 21, 22 и 23 сентября 1941 г. Каждый раз операторы «Редута» своевременно выдавали предупреждение о предстоящем налете вражеской авиации, что позволяло приводить в полную боеготовность расчеты у орудий и зенитных пулеметов на берегу и всех кораблях флота. Натолкнувшись на непроходимую стену сплошного заградительного огня, самолеты противника несли потери, разворачивались, сбрасывая бомбы куда попало. В результате при налетах на Крон-

штабт противник потерял за три дня 35 самолетов, в то время как существенного ущерба флоту нанесено не было. Сохранение огневой мощи кораблей флота имело важное значение для судьбы Ленинграда [4, 5].

Опыт боевого применения РЛС «Редут» в годы Великой Отечественной войны показал, что в радиолокации важны не только технические характеристики РЛС, но и высокие воинский дух, дисциплина и ответственность операторов. Сказанное находило свое подтверждение многократно во всех локальных войнах, в том числе в марте 1999 г. в Сербии. Тогда честное выполнение воинского долга и хорошая подготовка позволили одному расчету устаревшего зенитно-ракетного комплекса ЗРК С-125, поставленного на вооружение в СССР еще в 1961 г., сбить самолет F-117, разрекламированный как самолет-невидимка. Если бы расчеты всех югославских ЗРК действовали также, а не разбежались...

Зарождение и развитие радиолокации в Германии

Германия в 30-х гг. прошлого столетия имела самую развитую в мире радиотехническую промышленность. Это позволило, начав исследования в области радиолокации одновременно с другими странами в 1934 г., раньше всех наладить серийное производство РЛС и поставить их на вооружение.

Под руководством Ханса Хольмана (Hans Erich Hollmann) были разработаны и уже в 1937 г. поставлены на вооружение РЛС «Freya» и «Seetakt» (рис. 16, 17). В качестве антенных устройств впервые были использованы синфазные решетки вибраторных антенн. Хольман впервые в истории применил в РЛС магнетроны, что позволило повысить мощность и частоту излучения, увеличить дальность действия РЛС. Перед началом Второй мировой войны Хольман эмигрировал в США и во многом способствовал развитию американских РЛС.

Рис. 16. РЛС «Freya»

Рис. 17. РЛС «Seetakt» (руины)

Параметры германских РЛС смотрятся неплохо даже по сегодняшним меркам, например, параметры «Seetakt»: частота 368–390 МГц; длительность импульса – 3 мкс, период повторения – 2000 мкс.

В 1942 г. в Германии впервые в мировой истории были построены и поставлены на вооружение РЛС с зеркальными параболическими антеннами (рис. 18), как стационарными, так и возимыми.

Также впервые в истории в 1942 г. в Германии была построена РЛС с фазированной антенной решеткой (ФАР) с электрическим сканированием диаграммы направленности (ДН). Благодаря циклопическим для того времени размерам 30 м на 18 м РЛС (рис. 19) получила название «Mammut» («Мамонт»). Частота РЛС «Mammut» 187–220 МГц. Мощность передатчика в импульсе 200 кВт. Дальность обнаружения до 300 км. Ширина ДН 3,5 градуса. Электрическое сканирование ДН в вертикальной плоскости от 5 до 15 градусов, в горизонтальной плоскости ± 50 градусов.

Зарождение и развитие радиолокации в Великобритании

В Великобритании разработкой РЛС руководил Роберт Ватсон-Ватт (рис. 20). В 1939 г. было начато и в 1940 г. завершено строительство сети РЛС «Chain Home» (рис. 21–24) с вибраторными антеннами на мачтах высотой 110 м. Мощность передатчика в импульсе – 350 кВт. Частота 20–30 МГц. Длитель-

ность импульса – 20 мкс, период повторения – 40 мс. Опыт практической эксплуатации РЛС выявил необходимость развертывания дополнительной сети РЛС «Chain Home Low» для обнаружения самолетов противника на малых высотах.

Рис. 18. РЛС «Wurzburg-Riese» (Германия). Диаметр зеркала 7,5 м

Рис. 19. РЛС «Mammut» (Германия, 1942 г.)

Рис. 20. Роберт Ватсон-Ватт

Рис. 21. Сеть РЛС «Chain Home»

Рис. 22. РЛС Chain Home: зона радиолокационного обнаружения самолетов на больших (белая линия) и малых (черная линия) высотах

Рис. 23. Антенны «Chain Home»

Рис. 24. Оператор «Chain Home»

Зарождение и развитие радиолокации США

В США разработкой РЛС руководили Б. Тревор, П. Картер и Р. Пейдж. Начиная с 1936 г. в США строятся несколько макетных образцов РЛС, среди которых корабельная РЛС под названием

«RADAR» – аббревиатура слов «Radio Detection And Ranging». Это короткое и звучное название настолько всем понравилось, что спустя несколько лет так стали называть все американские РЛС. В конце 30-х гг. было освоено серийное производство ряда РЛС с синфазными вибраторными антенными решетками, в том числе SCR-268 (рис. 25), SCR-270 (мобильная версия, рис. 26) и SCR-271 (стационарная версия, рис. 27).

Рис. 25. РЛС SCR-268 (США)

Рис. 26. РЛС SCR-270 (США)

Рис. 27. РЛС SCR-271 (США)

В 1941 г. новейшими, весьма совершенными (для того времени) РЛС SCR-271 были оснащены базы военно-морского флота США, в том числе крупнейшая база Pearl Harbor на Гавайях, где была сосредоточена большая часть Тихоокеанского флота США – 93 корабля. Утром 7 декабря 1941 г. к этой базе приблизилась армада из шести японских авианосцев в сопровождении двух линкоров, трех крейсеров и девяти миноносцев. С авианосцев поднялось в воздух 360 боевых самолетов. На расстоянии 220 км операторы американской РЛС обнаружили групповую цель и, как положено, доложили в информационный центр. Дежурный офицер проигнорировал это сообщение. Причин тому было несколько: в процессе наладки новой РЛС случались ложные тревоги; в этот день ожидали прилета большой партии новых американских самолетов и т.д. Главные причины – низкая дисциплина и недооценка возможностей радиолокации. В результате Pearl Harbor «профукали». Тревога была объявлена уже после того, как упали первые бомбы. За два авианалета японцы потопили четыре линкора, один тяжелый крейсер, два нефтеналивных судна, сильно повредили еще два линкора, три крейсера, три эсминца, вспомогательные корабли, а также уничтожили около 300 самолетов и более 4 тысяч американских военнослужащих. По-

сле третьего авианалета не осталось бы уцелевших кораблей и самолетов армии США, но японский адмирал дал «отбой», за что по возвращении в Японию был приговорен к смертной казни. Но и двух авианалетов оказалось достаточно, чтобы нанести американцам огромный урон.

Вот что означает внезапность нападения, предотвратить которую и предназначена радиолокация! Если бы американцы поверили показаниям своей РЛС, у японцев не было бы никаких шансов разгромить американскую базу. Скорее всего, наоборот, была бы уничтожена японская эскадра.

В 1943 г. во время налета английской авиации на Гамбург для дезорганизации радиолокационных систем ПВО Германии была впервые использована постановка пассивных помех, создаваемых сброшенными с самолетов дипольными отражателями – легкими полосками алюминиевой фольги, длительное время находящимися в воздухе. Такие полоски одновременно были сброшены не только на Гамбург, но и на другие города Германии. На экранах РЛС системы ПВО Германии вместо отсчетов от 790 реальных самолетов, летевших на Гамбург, появились тысячи отметок целей, как будто тысячи бомбардировщиков летят с нескольких направлений на различные города. Система ПВО Германии была полностью дезорганизована. Начиная с 1944 г. вместе с дипольными отражателями стали применяться и специальные передатчики помех радиолокационным станциям, которые устанавливались на бортах бомбардировщиков и на самолетах сопровождения. Совершенствование средств радиоэлектронного подавления радиолокационных систем противника и в наше время является одним из главных направлений развития радиоэлектронной борьбы.

В конце Второй мировой войны в Германии и Великобритании были созданы первые образцы самолетных РЛС, впоследствии ставших непременным компонентом военной и гражданской авиации.

Современные тенденции развития радиолокации

Послевоенное развитие радиолокационной техники и зенитно-ракетных комплексов ПВО уже к 1960 г. позволило снять ограничения по высоте, на которой можно сбивать самолеты и ракеты противника. В ответ на это появились низколетящие средства воздушного нападения, прежде всего крылатые ракеты. Для борьбы с низколетящими целями, имеющими высокие угловые скорости относительно РЛС ПВО, стали непригодны РЛС с вращающимися зеркальными параболическими антеннами. На смену механическому сканированию диаграммы направленности антенн пришло электронное сканирование с высоким быстродействием. Основной тенденцией развития радиолокации стало применение фазированных антенных решеток (ФАР), коренным образом изменивших привычные представления о радиолокации. В качестве примера приведем основные параметры отечественной мобильной РЛС «Противник – ГЕ» (рис. 28): обзор по дальности от 10 км до 400 км, по высоте от 50 м до 120 км (это ближний космос); сопровождение до 150 целей. Еще более фантастические функциональные возможности имеют ФАР стационарных РЛС «Дон», «Воронеж» (рис. 29) и др.

Рис. 28. РЛС «Противник – ГЕ»

Рис. 29. РЛС «Воронеж»

Еще одним способом противодействия работе радиолокационных систем является использование так называемой Стелс-технологии (рис. 30), теоретические основы которой разработал российский ученый П. Я. Уфимцев. Смысл этой технологии сводится к двум факторам: профиль обшивки объекта подбирается таким образом, чтобы свести к минимуму отражения в ту же сторону, откуда приходит зондирующий сигнал; поверхность обшивки покрывается материалами, поглощающими радиоволны без отражений. В СССР такие технологии начали применять раньше, чем в США.

Среди способов обнаружения объектов, построенных с использованием Стелс-технологии, основными являются (рис. 31):

- применение сетей ПВО, когда одна станция используется для «подсветки» воздушного пространства, а несколько разнесенных РЛС работают на прием отраженных от целей сигналов;
- переход с сантиметрового на дециметровый или даже метровый диапазон, что дает не зеркальное, а диффузное (рассеянное) отражение.

Рис. 30. Самолет F-117 (США), построенный по Стелс-технологии

Рис. 31. Способы обнаружения Стелс-объектов

В заключение этого краткого обзора необходимо отметить, что задача создания радиолокационных систем дала толчок к развитию многих смежных отраслей техники:

- антенн, линий передачи, генераторов и приемников СВЧ;
- импульсной техники, автоматики, следящих систем;
- высокопроизводительных ЭВМ для обработки сигналов РЛС.

Библиографический список

1. Каганов, В. И. Радиотехника: от истоков до наших дней : учеб. пособие / В. И. Каганов. – М. : Форум, НИЦ ИНФРА-М, 2015. – 352 с. – URL: <http://znanium.com/bookread2.php?book=507404>.
2. Быховский, М. А. Развитие телекоммуникаций. На пути к информационному обществу: развитие радиолокационных систем : учеб. пособие для вузов / М. А. Быховский. – М. : Горячая линия-Телеком, 2015. – 402 с.
3. Шембель, Б. К. У истоков радиолокации в СССР / Б. К. Шембель. – М. : Советское радио, 1977. – 82 с.
4. Барышников, Н. И. Отечественная радиолокация на защите Ленинграда / Н. И. Барышников // Управленческое консультирование. Научно-практический журнал Северо-западной Академии государственной службы. – 2005. – № 1. – С. 9–13. – URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/-otechestvennaya-radiolokatsiya-na-zaschite-leningrada-1941-1945-gg>.
5. Проверенный в боях – «Редут» на страже неба. История создания и успешного применения Советской радиолокации / под ред. С. Иванова // The Russian Engineering. – 2006. – URL: <http://russianengineering.narod.ru/tank/russradar.htm>.

Светлов, А. В.

Радиолокация: зарождение и развитие / А. В. Светлов // Инжиниринг и технологии. – 2017. – Vol. 2(1). – DOI 10.21685/2587-7704-2017-2-1-1