



А. Н. РОМАНОВ, Г. А. ФРОЛОВ

РАДИОЛОКАЦИЯ - ЧТО ЭТО ?

**А. Н. РОМАНОВ,
Г. А. ФРОЛОВ**

РАДИОЛОКАЦИЯ — ЧТО ЭТО?

**ИЗДАТЕЛЬСТВО ДОСААФ
МОСКВА — 1974**

Современному бою присущи огромный пространственный размах, небывалая прежде мощь огневых ударов, чрезвычайно усложнившееся взаимодействие родов войск и быстрые изменения соотношения сил. Ракетно-ядерное оружие и новая боевая техника коренным образом изменили способы и формы ведения военных действий. И в этом немалая заслуга принадлежит радиолокации.

Предлагаемая вниманию читателя брошюра знакомит с принципом действия и устройством радиолокационных средств, с применением радиолокации в различных видах Вооруженных Сил.

Последняя глава посвящена применению радиолокации в мирных целях.

Брошюра не претендует на освещение официальной точки зрения по затронутым вопросам, а отражает лишь взгляды авторов. Она написана по материалам открытой советской и зарубежной печати.

Брошюра рассчитана на широкий круг читателей и особенно на молодежь, готовящуюся к службе в Советских Вооруженных Силах.

КАК ВОЗНИКЛА И РАЗВИВАЛАСЬ РАДИОЛОКАЦИЯ?

Одно из чудес современной техники

Радиолокация — одно из самых выдающихся достижений науки и техники нашего времени. Еще сравнительно недавно — лет сорок-пятьдесят назад — рассказ о ней был бы воспринят многими как смелая фантазия. Но теперь это открытие вошло в жизнь и позволяет успешно решать сложные задачи науки и техники.

При помощи радиолокации можно, например, обнаружить скрытый во мгле корабль или самолет, следить, куда они движутся и с какой скоростью; радиолокация облегчает судовождение вблизи берегов, охраняет корабль от столкновений с другими судами во время тумана. Установленная на самолете радиолокационная станция дает возможность «видеть» землю при полете ночью или на большой высоте над облаками. Это помогает летчику находить верный путь в просторах воздушного океана.

Слово «радиолокация» означает определение местоположения какого-либо объекта (самолета, корабля, автомобиля и др.) при помощи радиоволн.

Радиолокационная техника, основанная на использовании эффекта отражения электромагнитных волн от различных объектов за свой недолгий век достигла исключительного развития. Она с успехом применялась во второй мировой войне, прежде всего в противовоздушной обороне, а также на флоте и в авиации, что повлияло на тактику использования различных видов оружия.

В послевоенное время радиолокация получила дальнейшее развитие. Радиолокаторы широко используются теперь не только в военных целях, но и для обеспечения безопасности полетов пассажирских самолетов, регулирования автомобильного движения в городах и т. п. Радиолокация применяется во многих отраслях науки и в народном хозяйстве: в астрономии, металлургии, химическом производстве, геологии, угольной промышлен-

ности, на строительстве, в рыбном промысле, в медицине. Без развитой радиолокационной техники были бы немыслимы успешные запуски искусственных спутников Земли, современных космических станций и другие космические исследования, проводимые в нашей стране исключительно в мирных целях.

Более тридцати пяти лет прошло с тех пор, как в нашей стране были испытаны первые опытные устройства для обнаружения самолетов с помощью электромагнитных волн. Все эти годы радиолокация — это изумительное достижение человеческой мысли — верно служит людям.

Свое знакомство с радиолокацией начнем с истории ее возникновения и развития.

У истоков радиолокации

Какую бы область техники мы ни взяли, всегда от открытия физических принципов, лежащих в ее основе, до формирования последней как науки и получения практического эффекта лежит длинный путь поисков, неудач и успехов. Такой путь характерен и для радиолокации.

Начало развития радиолокации относится к 30-м годам текущего столетия, а широкое практическое применение она получила в годы второй мировой войны.

Однако явление, лежащее в основе радиолокации, — отражение радиоволн — было замечено и описано изобретателем радио Александром Степановичем Поповым еще в 1897 году при проведении в Кронштадтской гавани опытов, связанных с совершенствованием созданных им связных радиостанций. Произошло это при следующих обстоятельствах.

Во время проведения опытов определялась максимальная дальность уверенной радиосвязи. Радиопередатчик был установлен на учебном судне «Европа», а радиоприемник — на крейсере «Африка». Расстояние между кораблями все время изменялось и контролировалась эффективность радиосвязи на различных дальностях. В какой-то момент, когда радиосвязь должна была быть уверенной, она неожиданно прекратилась, а затем опять восстановилась. Оказалось, что перерыв в

связи возник в то время, когда между кораблями, поддерживавшими радиосвязь, проходил крейсер «Лейтенант Ильин». А. С. Попов дал объяснение этому неизвестному ранее явлению, указав, что оно происходит в результате отражения радиоволн от корабля, находящегося на пути их распространения.

Таким образом было открыто явление отражения электромагнитных волн от больших металлических тел. Однако это открытие в то время и в последующие годы не могло найти практического применения. Слишком слабо была еще развита радиотехника и смежные с нею науки, на основе которых впоследствии создавалась радиолокация. Отсутствовали мощные передатчики, остронаправленные антенны, чувствительные приемники, способные регистрировать слабые отраженные сигналы.

Не развивались радиопеленгование, техника ультракоротких волн, импульсная техника, автоматика. Не было еще нужных электровакуумных приборов. Методы измерения очень малых интервалов времени не были еще разработаны. Другими словами, уровень развития радиотехники и электроники был слишком низким для того, чтобы практически могла возникнуть такая комплексная и сложная область науки, как радиолокация.

Явление отражения радиоволн, несмотря на быстрое развитие радиотехники, еще долго не могло найти практического применения также и по той причине, что проявилось оно на ультракоротких и близких к ним волнах, которые использовал А. С. Попов. В последующие же после его открытия десятилетия развивавшаяся радиотехника использовала более длинные волны, а на них явление отражения почти не проявляется.

Отсюда становится ясным, что разработке и практическому осуществлению радиолокационной аппаратуры должен был предшествовать этап теоретического и технического развития радиоэлектроники, в процессе которого нужно было освоить ультракороткие волны, создать работающие в этом диапазоне мощные генераторные радиолампы и чувствительные приемные элементы. Такой этап радиоэлектроника прошла только к 30-м годам.

Прообразом первой отечественной радиолокационной станции была импульсная ионосферная станция, соз-

данная в СССР в 1932 г. М. А. Бонч-Бруевичем для изучения верхних ионизированных слоев атмосферы.

Передатчик станции вырабатывал импульсы высокой частоты, которые посылались антенной вертикально вверх и после отражения от ионосферы улавливались приемником, расположенным на небольшом расстоянии от передатчика. По времени, прошедшему с момента излучения импульса передатчиком до момента приема отраженного сигнала, определялась высота ионосферы. Другими словами, действие этой станции было основано на принципе радиоэха, используемом и в радиолокации. Работала ионосферная станция на коротких волнах, хорошо отражающихся от ионизированных слоев атмосферы.

Примерно в это же время открытие А. С. Поповым отражения радиоволн от кораблей было дополнено открытием их отражения и от самолетов.

При работах с аппаратурой типа используемой в ионосферных станциях в диапазоне ультракоротких волн было замечено, что во время пролета самолета между радиопередатчиком и приемником изменялся характер принимаемого сигнала, что говорило о наличии, кроме прямого принимаемого сигнала, еще и второго, отраженного сигнала, взаимодействующего с первым. Таким образом, было установлено, что радиоволны отражаются и от летящего объекта.

Это открытие указало на возможность использования радиоволн для предупреждения о приближении самолетов или во всяком случае о пересечении ими линии радиопередатчик-приемник, что имело чрезвычайно большое военное значение, особенно для противовоздушной обороны.

Радиолокация начинает действовать

Возможность обнаружения кораблей и самолетов с помощью радиолокации говорит о ее военном значении. Не удивительно поэтому, что первые попытки создания радиолокационных станций как у нас в стране, так и за рубежом были предприняты для решения именно этих задач.

Видеть противника, оставаясь невидимым для не-

го, — какой полководец всех времен не мечтал об этом?! А такая возможность, во всяком случае на первых порах, пока противник не обзавелся своими радиолокационными станциями, была вполне реальной. Вот поэтому все материалы по радиолокации стали тщательно засекречивать. В Англии и США радиолокацию возводят в ранг «величайшего секретного оружия» и снабжают грифом высшей секретности.

Тем не менее, несмотря на столь суровые меры, принятые для охраны исследований по радиолокации, она становилась на ноги более или менее равномерно во всех технически развитых странах. Одни и те же открытия, технические решения и разработки ученые и инженеры разных стран делали практически одновременно. В конце 30-х годов радиолокационные станции были созданы в нашей стране, США, Англии, Германии и Франции. Так что об одностороннем применении радиолокационных станций не могло быть и речи. Эфир стал таким же полем боя, как земля, воздух и море.

Однако обнаружению военных объектов с помощью радиолокации предшествовало применение других методов, один из которых был основан на сочетании прожектора со звукоулавливателем. Громоздкий звукоулавливатель должен был определять направление приходящей звуковой волны от шумящего самолета и наводить на него прожектор. Захват самолета лучом прожектора был в то время необходим для стрельбы по нему из зенитных орудий и для наведения на противника своей истребительной авиации.

Результаты испытаний оказались малоутешительными. Дальность действия звукоулавливателя была мала, а точность наведения луча прожектора такова, что примерно в пятидесяти случаях из ста наведение не осуществлялось (даже в благоприятных условиях). За неимением в то время лучших средств система под названием «Прожзвук» была принята на вооружение. Возлагались надежды на то, что в дальнейшем она может быть усовершенствована. Но эти надежды, к сожалению, не оправдались, и уже в 1930—1933 гг. сложилось мнение о бесперспективности акустических методов обнаружения.

Необходимо было искать другие средства обнаружения самолетов. Новое направление заключалось в об-

наружении самолетов по их тепловому излучению. Созданный для этого теплообнаружитель (теплореленгатор) представлял собой 150-сантиметровый зенитный прожектор с металлическим зеркалом, в фокусе которого устанавливался термоэлемент. Часть тепловой энергии, излучаемой летящим самолетом, попадала на поверхность зеркала, отражалась от него и фокусировалась на термоэлементе, превращаясь в электрическую энергию, которую можно регистрировать. Появление самолета устанавливалось через телефоны-наушники, а реленгование производилось в момент поступления максимума звука во время вращения прожектора.

Испытания теплореленгаторов, проводившиеся в 1932—1934 гг., показали, что и при этом методе дальность обнаружения мала. Самолет-бомбардировщик обнаруживался на расстоянии всего 10—12 км. К недостаткам подобных устройств обнаружения самолетов следует отнести и то, что ими можно было пользоваться только ночью на фоне чистого безоблачного неба.

Так как ни акустика, ни теплореленгация не решали задач по дальнему обнаружению и определению местоположения вражеских объектов, приходилось искать новые пути. Специалистам стало ясно, что перспективным может быть только использование радиоволн, посылаемых наблюдательной станцией и принимаемых ею после их отражения от самолета.

Таким образом, возникло несоответствие между ростом летно-технических качеств авиации и развитием противовоздушной обороны. Оно заключалось в том, что рост скорости и высоты полета самолетов опережал рост возможностей боевых сил и средств противовоздушной обороны. Отставание техники противовоздушной обороны особенно сказывалось на службе воздушного наблюдения, оповещения и связи, т. е. в разведке воздушного противника. Имевшиеся средства обнаружения, основанные на визуальном наблюдении, применении оптики и звукопеленгации, не могли уже обеспечить разведку воздушного противника в системе ПВО. Анализ этих средств показал, что с дальнейшим развитием авиации наступит полная непригодность состоящих на вооружении ВНОС средств обнаружения. Все это говорило о необходимости поиска принципиально нового технического средства об-

нарушения самолетов и определения их местоположения в пространстве. И такое средство было найдено.

Уже к середине 1934 г. была изготовлена опытная аппаратура радиообнаружения самолетов «Рapid». С получением положительных результатов эксперимента предусматривалась разработка электромагнитной разведывательной станции ВНОС.

Разработки в области радиолокации, начатые с 1934 года, проводились по двум направлениям. Первое направление, вытекавшее из работ А. С. Попова, состояло в создании так называемых радиозавес или радиоблокировок. Основано оно было на регистрации радиоволн, отраженных от летящего самолета, попавшего в зону облучения между разнесенными передающим и приемным устройствами. Системы этого вида были созданы в 1936—1937 гг. и успешно использовались.

Второе направление состояло в создании радиолокационных станций, зондирующих пространство обзора, обнаруживающих отражающие объекты и определяющих их координаты. Сначала в них применялся метод непрерывного излучения электромагнитной энергии, а затем — импульсный. Оба метода широко применяются в радиолокационной технике и в настоящее время.

Первые опытные образцы станций работали на дециметровых и метровых волнах. Самолеты обнаруживались путем выделения частоты биений между прямым непрерывным сигналом передатчика и сигналом, отраженным от движущейся цели и имеющим частоту, отличную от частоты передатчика.

Работы велись весьма успешно и, несмотря на несовершенство первых генераторных и приемно-усилительных электровакуумных приборов дециметрового и метрового диапазонов, уже первые опытные образцы станций показали перспективность этого направления.

В 1938 г. была создана одна из первых отечественных радиолокационных станций обнаружения самолетов (радиоуловитель самолетов РУС-1), использовавшая в своей работе метод непрерывного излучения. В 1939 г. она была принята на вооружение Советской Армии. Эта станция обнаруживала самолеты противника на 80—100-км участке фронта и значительно упрощала задачу своевременного предупреждения войск и населения

городов о приближении вражеской авиации. Во время советско-финляндской войны эти станции несли боевую службу в системе ПВО Ленинграда.

Более совершенная импульсная радиолокационная станция обнаружения самолетов под названием «РУС-2» (или «Редут») была принята на вооружение войск противовоздушной обороны в 1941 г. и имела дальность обнаружения около 120 км при высоте полета цели 7 км. В результате усовершенствования и модернизации радиолокационной станции «Редут» появились станции серии «Пегматит»: П-1, П-2, П-2М, П-3А.

Всего же к началу Великой Отечественной войны наши войска имели 25—30 радиолокационных станций РУС-2, развернутых в Московской и Северной зонах ПВО, и 45 комплектов станций РУС-1, развернутых в Закавказье и на Дальнем Востоке.

Исключительно важную роль в форсировании разработок техники радиообнаружения сыграл М. Н. Тухачевский, бывший в свое время заместителем Народного комиссара обороны СССР. Он одобрил идею и утвердил тактико-технические требования на разработку устройства для обнаружения самолетов с помощью электромагнитных волн, а также способствовал размещению заказов на изготовление опытной аппаратуры.

Большую и решающую помощь в создании экспериментальных установок для радиообнаружения самолетов оказал С. М. Киров. Он активно содействовал работе всех заинтересованных организаций и помог быстро разместить на заводах и в лабораториях Ленинграда заказы по разработке опытной аппаратуры. В дальнейшем С. М. Киров пристально следил за ходом проводившихся работ.

Одновременно с разработкой наземных радиолокационных станций обнаружения воздушного противника большие работы были проведены по созданию станций срудийной наводки зенитной артиллерии, самолетных и корабельных радиолокаторов. Таким образом, в первые годы Великой Отечественной войны Советская Армия имела на вооружении радиолокационные станции для обнаружения самолетов, управления огнем зенитной артиллерии и наведения истребительной авиации.

Несмотря на несовершенство первых типов радиолокационных станций, умелое применение их зачастую решало исход боя. Лучи радиолокационных станций бдительно следили за воздушным пространством вокруг нашей столицы и вовремя обнаруживали вражеские эскадрильи. Это не позволяло противнику застичнуть защитников Москвы врасплох. Навстречу фашистским пиратам поднимались наши истребители, открываяли огонь зенитчики.

В ночь на 22 июля 1941 года гитлеровское командование направило на Москву 220 самолетов, однако воздушная атака была успешно отражена и налетчики получили по заслугам. В ходе войны фашисты 122 раза пытались совершить воздушные налеты на Москву и всегда встречали мощный отпор. Благодаря активности нашей противовоздушной обороны, имевшей на вооружении радиолокационную технику, фашистам ни разу не удалось совершить массированный налет на столицу и причинить ей большой ущерб. Зато сам враг потерял под Москвой 1300 самолетов и поплатился жизнью нескольких тысяч своих летчиков.

Иногда радиолокация помогала раскрывать коварные замыслы неприятеля и наносить ему неожиданные удары. Так, в конце 1941 года наш радиолокационный пост, расположенный в одной из окрестностей Ленинграда, обнаружил, что на аэродроме противника, находившемся в зоне действия наших радиолокаторов, сосредоточиваются крупные силы фашистской авиации. Наша авиация нанесла упреждающий удар по этому аэродрому и уничтожила более 20 вражеских самолетов. За умелое использование радиолокационной техники расчет поста был удостоен правительственных наград.

В дальнейшем в трудные годы войны советские ученые, инженеры-конструкторы и технологи разработали и наладили серийный выпуск радиолокационных станций различного тактического назначения, что позволило значительно повысить боевые возможности войск.

В настоящее время качество радиолокационного вооружения непрерывно улучшается, и наши Вооруженные Силы получают все более современную радиолокационную технику. Практическое применение радиолокационной техники изложено в последующих главах.

КАК ОСУЩЕСТВЛЯЕТСЯ РАДИОЛОКАЦИЯ?

Радиоэхо

Всем хорошо знакомо явление эха, которое объясняется отражением звука от гор, больших зданий, стен и других препятствий, встречающихся на пути распространения звуковых волн.

Если, например, встать напротив стены высокого здания и крикнуть, то через некоторое время вы услышите отраженный от этой стены звук — эхо. Время, которое пройдет с момента, когда вы крикнули, до момента, когда вы услышали эхо, определится расстоянием между вами и стеной. Это расстояние легко определить, зная скорость распространения звука в воздухе.

При помощи звукового эха можно грубо определить и направление, в котором находится препятствие, если применить направленные излучения и прием звуковых волн, например рупор. Меняя направления рупора во время излучения звуковых волн, можно по наибольшей силе звукового эха определить направление на препятствие.

Таким образом, используя явление отражения звуковых волн от препятствий, можно не только обнаружить препятствие, но и определить его местонахождение.

Аналогичный принцип обнаружения объектов и наблюдения за ними положен в основу работы радиолокатора. Но при этом используются не звуковые, а радиоволны — особый вид материи, представляющей собой совокупность электрических и магнитных высокочастотных полей, распространяющихся в свободном пространстве со скоростью света — около 300 000 км/сек.

Работа любых радиолокационных станций основана на использовании трех основных принципов:

- явления отражения радиоволн от препятствий, встречающихся на пути их распространения (радиоэха);

- постоянства скорости распространения электромагнитной энергии в пространстве;

- направленности излучения и приема сиг-

налов с помощью специальных антенн, обладающих направленным действием.

Работа большинства радиолокаторов основана на применении ультракоротких волн (УКВ) в метровом, дециметровом и сантиметровом диапазонах.

Выбор УКВ для радиолокации не случаен, а продиктован многими важными обстоятельствами. Оказывается, УКВ хорошо отражаются от объектов со сравнительно небольшими размерами — кораблей, самолетов, всплывших подводных лодок, в то время как более длинные волны огибают их. Кроме того, для УКВ необходимы антенны меньших размеров, чем для более длинных волн. Это делает радиолокационную станцию более компактной и потому ее можно сделать подвижной. И, наконец, на УКВ имеется возможность создания коротких импульсов с большим заполнением их несущей частотой, что позволяет повысить точность локации.

Итак, радиолокация основана на свойствах радиоволн распространяться в однородной среде прямолинейно и с постоянной скоростью. Эти свойства радиоволн позволяют определить направление на объект и расстояние до него. Радиолокацию соответственно подразделяют на радиодальномерию и радиопеленгацию. Радииодальнометрия — это измерение дальности до объектов, от которых отразились радиоволны, а радиопеленгация — это определение направлений на эти объекты.

Иногда в литературе приходится встречаться с термином «Радар». Этот термин составлен из начальных букв английских слов Radio Direction and Range, что может быть переведено как «определение направления и расстояния с помощью радио».

В дальнейшем объекты радиолокации мы будем называть радиолокационными целями или просто — целями.

Координаты целей и параметры их движения

Термины «расстояние» и «направление» являются слишком общими и недостаточными для характеристики радиолокационной цели. Представим себе такую картину. С помощью радиолокатора мы обнаружили само-

лет противника. Для того, чтобы бороться с ним и уничтожить, нам необходимо знать его местонахождение в любой момент текущего времени и, кроме того, необходимо знать направление и скорость его полета, с тем чтобы прогнозировать, где этот самолет будет находиться через определенное, наперед заданное время, например, в момент атаки его истребителем-перехватчиком. Иными словами, надо знать координаты цели и параметры ее движения. Описанная выше ситуация характеризуется наглядно на рис. 1.

Знать и четко представлять себе координаты цели и параметры ее движения должен каждый оператор радиолокационной станции — с этими понятиями он встречается непрерывно в процессе боевой работы.

Первая координата — наклонная дальность (ее принято обозначать буквой D) — это кратчайшее расстояние от радиолокатора до цели.

В связи с тем, что траектория полета цели на командных пунктах отображается наглядно на картах-планшетах (т. е. на плоскости, а не в пространстве), принято пользоваться горизонтальной дальностью (d), представляющей собой проекцию наклонной дальности на горизонтальную плоскость.

Угол, заключенный между линиями горизонтальной (d) и наклонной (D) дальностей, называют углом места цели и обозначают греческой буквой ϵ (эпсилон).

Зная величину D и ϵ , можно легко определить такую координату, как высота полета цели (ее принято обозначать буквой H), если воспользоваться известной зависимостью

$$H = D \cdot \sin \epsilon.$$

И, наконец, последняя координата — азимут цели. Эту координату принято обозначать греческой буквой β (бета). Азимут — угол в горизонтальной плоскости, отсчитываемый от направления на север до направления на цель.

К параметрам движения цели принято относить скорость полета цели и курс ее полета. Под скоростью полета цели (V) понимают расстояние, преодолеваемое целью в единицу времени (в секунду, в минуту, в час), а курс цели (Q) — это угол в горизонтальной плоско-

сти, заключенный между направлением на север и направлением полета цели, отсчитываемый от направления на север (например, если цель летит на запад, то ее курс равен 270° , а если на восток — 90°).

Координаты цели определяются радиолокатором непосредственно (как это делается, мы узнаем несколько позже), а параметры являются величинами производными и рассчитываются специальными счетно-решающими устройствами.

Как определить дальность до цели?

Для определения расстояния до цели — D (см. рис. 1) необходимо измерить время запаздывания отраженного от цели сигнала относительно так называемого зондирующего сигнала.

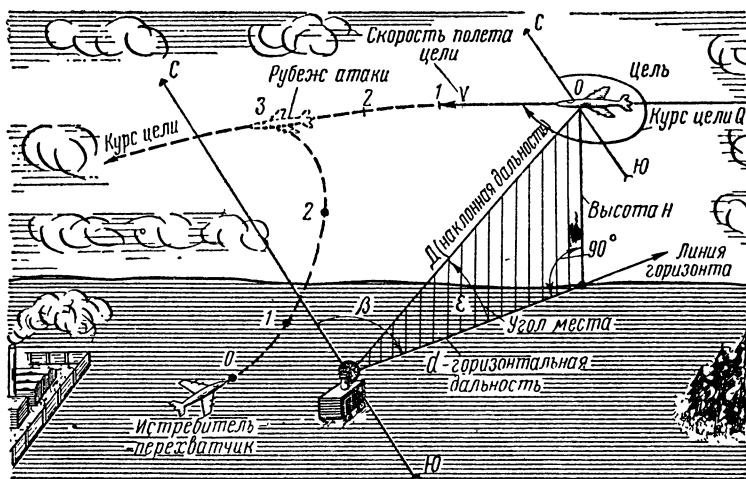


Рис. 1. Координаты и параметры движения цели

Зондирующий сигнал — это импульс высокочастотной электромагнитной энергии большой мощности, излученный в пространство антенной. Момент излучения зондирующего импульса берется за начало отсчета времени распространения радиоволн.

Отраженный сигнал — это импульс электромагнитной энергии, отраженный от цели и принятый радиоприемником.

Интервал времени между моментом излучения и приема этих импульсов называют временем запаздывания отраженного сигнала — t_3 . Оно может быть определено из выражения

$$t_3 = \frac{2D}{c},$$

где D — дальность до цели;

c — скорость распространения радиоволн.

Последнее выражение дает возможность определить дальность до цели, если измерить величину t_3

$$D = \frac{c \cdot t_3}{2}.$$

Действительно, в правой части выражения все величины, кроме t_3 , являются постоянными, поэтому можно утверждать, что время задержки t_3 прямо пропорционально дальности до цели.

В зависимости от метода измерения интервала времени различают следующие методы радиолокации: импульсный, частотный и фазовый.

Принцип действия импульсного радиолокатора рассмотрим на упрощенной блок-схеме, изображенной на рис. 2.

Передатчик излучает электромагнитные колебания в виде периодически повторяющихся зондирующих импульсов. Эти импульсы через переключатель с приема на передачу и обратно (его принято называть антенным коммутатором) поступают в антенну, с которой излучаются в пространство. В промежутках между зондирующими импульсами антенный переключатель пропускает все отраженные сигналы в приемник. С выхода приемника эти сигналы поступают на индикаторное устройство, представляющее собой измеритель интервала времени между излучением зондирующего импульса и приемом отраженного импульса. Шкала индикатора отградуирована не в единицах времени, а в единицах дальности (в километрах, метрах). При градуировке шка-

лы исходят из того, что электромагнитная энергия распространяется в пространстве (как уже было сказано выше) с постоянной скоростью 300 000 км/сек или 300 м/мксек и для расчета пользуются приведенной формулой определения дальности. В качестве индикатора при-

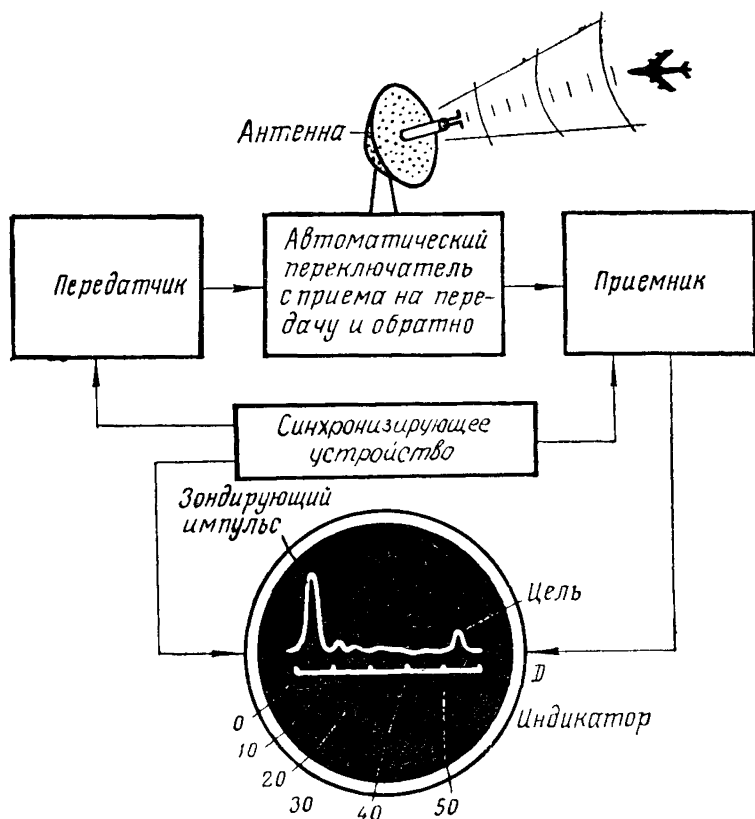


Рис. 2. Упрощенная блок-схема импульсного радиолокатора

меняется электроннолучевая трубка, на экране которой разворачивается луч с постоянной скоростью.

Для нормальной работы импульсного радиолокатора необходимо согласовать по времени (синхронизировать) работу передатчика, приемника и индикаторного уст-

ройства, т. е. момент излучения зондирующего импульса должен точно совпадать с началом движения луча по экрану индикатора и приемник с этого момента должен быть открыт для прохождения через него отраженных сигналов. Это согласование выполняет синхронизатор.

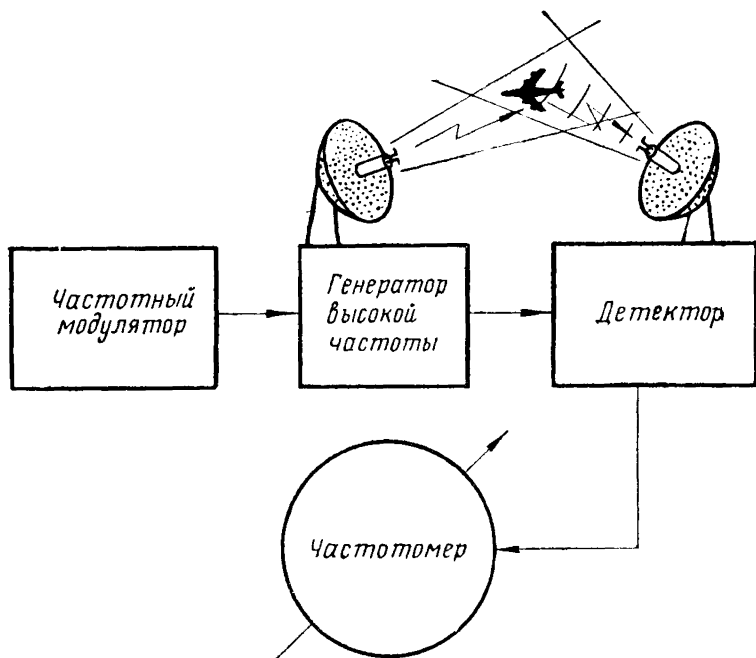


Рис. 3. Блок-схема частотного радиодальномера

Принцип действия частотного радиодальномера, упрощенная блок-схема которого изображена на рис. 3, сводится к следующему.

Генератор высокой частоты генерирует непрерывные колебания, частота которых модулируется по определенному закону модулятором (рис. 4, а). Эти колебания излучаются в пространство передающей антенной, отражаются от цели, принимаются приемной антенной и поступают на детектор (рис. 4, б). Сюда же поступают

колебания с генератора; на входе детектора эти колебания складываются (рис. 4,б), а на выходе детектора выделяется огибающая результирующего колебания (рис. 4,г).

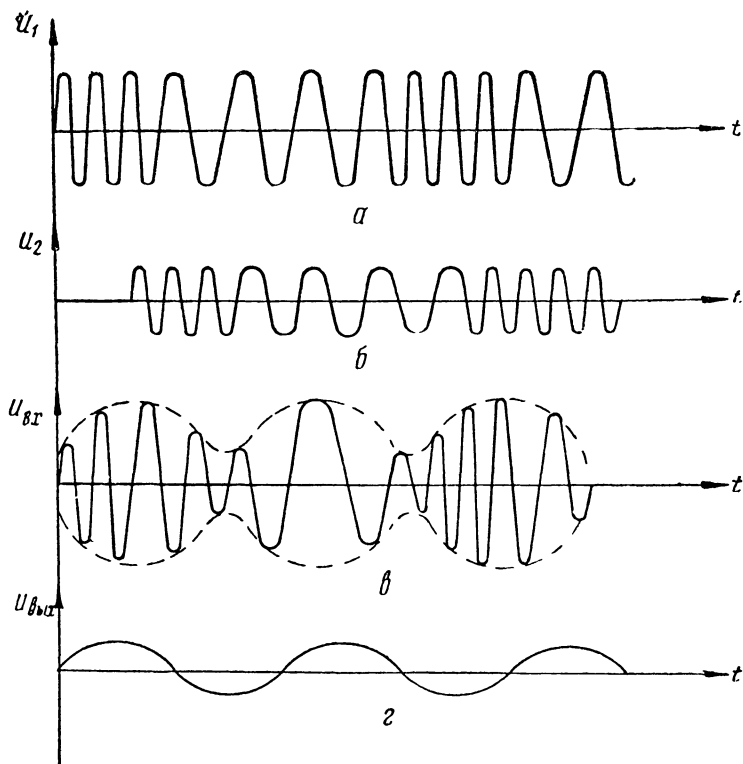


Рис. 4. Графики напряжений, поясняющие работу частотного радиодальномера

Число максимумов огибающей этого колебания в единицу времени зависит от времени запаздывания отраженного сигнала, т. е. от расстояния до объекта.

Если колебания с выхода детектора подать на частотомер и измерить их частоту, то расстояние до цели можно определить по формуле:

$$F_6 = a \cdot \frac{2D}{c}, \quad \text{откуда} \quad D = \frac{c \cdot F_6}{2a},$$

где F_{δ} — частота биений результирующего колебания;

a — скорость изменения частоты.

Если частотомер проградуировать в единицах дальности, то с его шкалы можно непосредственно считывать дальность до цели.

Дальность до цели можно определять еще и методом непрерывного излучения с модуляцией излучаемых колебаний по фазе, которая периодически меняется. Принцип работы такого радиолокатора состоит в следующем.

Передающее устройство генерирует непрерывные колебания постоянной частоты, а начальная фаза этих колебаний меняется по определенному коду. Сигнал излучается в пространство, отражается от цели и принимается приемником. В приемник, как и в предыдущем методе, поступает начальный (излученный) сигнал. Оба сигнала сравниваются по фазе. Время задержки опорной фазы принятого отраженного сигнала будет пропорционально дальности до цели.

В чем преимущества непрерывной радиолокации перед импульсной?

Методы непрерывной радиолокации (как частотный, так и фазовый) имеют ряд существенных преимуществ перед импульсным методом. Основными преимуществами этих методов являются: большая дальность действия, возможность измерения, кроме дальности, еще и скорости перемещения цели, более высокая помехозащищенность.

Рассмотрим эти преимущества подробнее.

Дальность действия радиолокатора определяется выражением (известным под названием: основное уравнение радиолокации).

$$D_{\max} = \sqrt[4]{\frac{P_{\text{пер}}}{P_{\text{пр. min}}}} \cdot K',$$

где $D_{\max}$ — максимальная дальность действия РЛС;
 $P_{\text{пер}}$ — мощность передатчика;

$P_{\text{пр. min}}$ — чувствительность приемника, т. е. минимально необходимая мощность сигнала на входе приемника для получения нормального сигнала на его выходе;

K' — коэффициент, определяющий качества антенной системы, отражающую поверхность цели, частоту излученного сигнала и ряд других факторов.

Для увеличения дальности действия радиолокации необходимо либо увеличить мощность передатчика, либо сделать приемник более чувствительным, либо увеличить коэффициент K' .

Увеличение мощности передатчика практически осуществить можно, но это сделает его более громоздким и дорогим, а эффект, достигнутый при этом, будет весьма незначительным. Так, например, увеличение мощности передатчика в два раза сделает его размеры примерно в два-три раза больше, а дальность действия радиолокатора увеличится всего на одну шестнадцатую часть.

Воздействие на величину K' тоже весьма ограничено. Например, увеличение направленности антенной системы в два раза увеличит последнюю в несколько раз, а эффект получится незначительный.

Рассмотрим теперь возможности по увеличению чувствительности приемника. Чувствительность приемника определяется выражением

$$P_{\text{пр. min}} = K \cdot \Delta f,$$

где K — коэффициент, определяемый такими факторами, как, например, степень различимости принятого сигнала на фоне помех, температура, и рядом других. Увеличить этот коэффициент технически очень сложно;

Δf — полоса пропускания приемника, т. е. полоса частот, в пределах которой приемник пропускает все напряжения без искажений.

Поясним это определение примерами. Человеческий голос включает в себя полосу частот от нескольких десятков герц до десятков килогерц (примерно до 25 кгц). Если радиоприемник имеет полосу пропускания 20—25 кгц, то на его выходе человеческий голос будет воспроизводиться без искажений.

В импульсном радиолокаторе приемник должен быть таким, чтобы он без искажений пропускал на свой выход кратковременные импульсы, отраженные от целей. Кратковременный импульс, длительность которого равна долям микросекунды, представляет собой совокупность синусоидальных колебаний громадной полосы частот от десятков герц до нескольких мегагерц, поэтому полоса пропускания радиолокационного приемника должна быть шириной в несколько мегагерц. Ширину полосы пропускания приемника импульсной РЛС рассчитывают по формуле:

$$\Delta f \text{ (мгц)} = \frac{1 \div 3}{\tau_{\text{и}}},$$

где $\tau_{\text{и}}$ — длительность импульса в микросекундах. Только в этом случае отраженный от цели импульс пройдет через приемник без заметного искажения.

Совершенно другая картина наблюдается при приеме сигналов при непрерывной радиолокации. В этом случае передатчик излучает непрерывные синусоидальные колебания одной несущей частоты и для пропускания колебаний этой одной частоты приемник может не быть широкополосным.

Если сравнить теперь значения Δf у приемника импульсного радиолокатора и радиолокатора непрерывного излучения, то можно убедиться, что выигрыш получится здесь по крайней мере в 10 000 раз. Уменьшение знаменателя в уравнении радиолокации дает существенный выигрыш в получении конечного результата — увеличении дальности действия радиолокатора.

Возможность при непрерывной радиолокации измерять, кроме дальности до цели, еще и скорость объясняется следующим.

Как известно, частота электромагнитных колебаний f связана со скоростью их распространения c и длиной волны λ соотношением

$$f = \frac{c}{\lambda}.$$

Если источник электромагнитных колебаний приближается к пункту приема этих колебаний со скоростью v (в нашем случае цель приближается к радиолокатору), то скорость распространения сигнала будет равна сумме скоростей распространения электромагнитных колебаний и движения их источника, т. е. суммарная скорость будет равна $c + v$. Следовательно, приемник зарегистрирует сигнал с частотой уже не f , а f_1 , равной

$$f_1 = \frac{c + v}{\lambda}.$$

Разность между частотами этих двух сигналов будет составлять

$$F_d = f - f_1 = \frac{c}{\lambda} - \frac{c + v}{\lambda} = -\frac{v}{\lambda}.$$

Эту разность принято называть частотой Допплера, а описанный выше эффект — эффектом Допплера.

Из последней формулы следует, что изменение частоты принятого сигнала пропорционально скорости движения цели, т. е., измерив частоту принятого сигнала и сравнив ее с частотой зондирующего сигнала, можно определить скорость движения цели.

Определим теперь не только расстояние, но и направление

Определение направления на цель, т. е. измерение ее угловых координат, называют радиопеленгацией. Радиопеленгация основана на использовании направленных свойств антенн. Диаграмма направленности антенны радиолокатора может иметь вид, указанный на рис. 5. Широкой диаграммой направленности принято

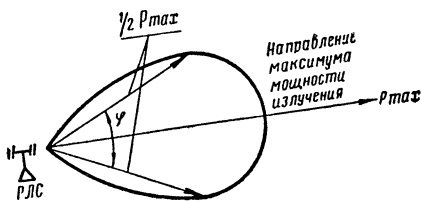


Рис. 5. Вид диаграммы направленности антенны радиолокатора

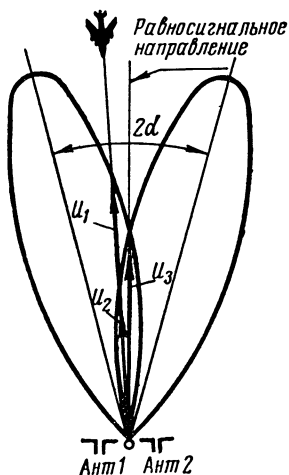


Рис. 6. Пеленгация методом равносигнальной зоны

считать угол, заключенный между линиями половинного спада мощности излучения или приема.

Из амплитудных методов радиопеленгации наибольшее распространение получили методы: максимума, минимума, равносигнальной зоны и сравнения.

Сущность метода максимума заключается в том, что о направлении антенны на цель судят по величине амплитуды принятого сигнала. Амплитуда будет максимальна только в случае, когда на цель направлен максимум диаграммы направленности антенны.

При пеленгации по методу минимума направление на цель (пеленг) отсчитывается в тот момент, когда минимум диаграммы направленности антенны совпадает с направлением на цель. О пеленге судят при этом методе по исчезновению сигнала на индикаторном устройстве.

Для пеленгации по методу равносигнальной зоны необходимо иметь две диаграммы направленности, расположенные в пространстве, как показано на рис. 6. При пеленгации направление на цель отсчитывается в тот момент, когда амплитуды сигналов цели, соответствующие каждой из диаграмм направленности, равны. В простейшем случае пеленгация этим методом может быть осуществлена следующим образом.

Пусть антенная система состоит из двух одинаковых антенн и направления максимумов их диаграмм направленности расходятся под некоторым углом $2d$ (рис. 6). Отраженные от пеленгуемой цели сигналы принимаются антеннами и направляются в различные приемные каналы. Снятые с выходов приемников сигналы сравниваются по амплитуде. Как видно из рис. 6, сигнал, принятый левой антенной, имеет амплитуду U_1 , а правой — U_2 . Оператор, поворачивая антенную систему,

добивается такого ее положения, при котором сигналы, принятые каждой антенной, будут равны между собой, т. е. равны U_3 . В этот момент оператор отсчитывает пеленг цели по прибору, указывающему угловое положение антенной системы.

Практически для получения равносигнального направления может применяться метод конического сканирования. При этом методе облучатель антенны смещается из фокуса параболического зеркала антенны и вращается вокруг оси зеркала, в результате чего диаграмма направленности описывает в пространстве конус, последовательно занимая правое, верхнее, левое и нижнее положения. Правое и левое положения используются для определения азимута цели, а верхнее и нижнее — для определения угла места.

Кроме амплитудных методов радиопеленгации существуют еще и фазовые методы. При этих методах о пеленге цели судят по разности фаз напряжений двух разнесенных в пространстве приемных антенн 1 и 2 (рис. 7).

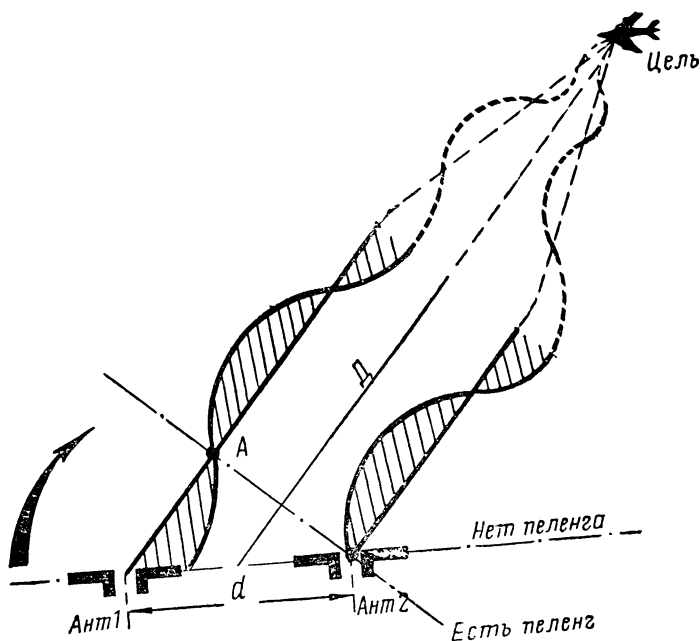


Рис. 7. К пояснению фазового метода пеленгации

Если линия, на которой расположены антенны 1 и 2 перпендикулярна линии D , то фаза принятого антенной 1 сигнала будет отличаться от фазы сигнала, принятого антенной 2 («Нет пеленга»). И, наоборот, при перпендикулярном расположении антенн 1 и 2 относительно линии D фаза сигнала, принятого антенной 1 будет равна фазе сигнала, принятого антенной 2 («Есть пеленг»).

Задача оператора при фазовой пеленгации сводится к тому, чтобы добиться наличия одинаковой фазы сигнала на антеннах 1 и 2.

А ведь нужно еще и опознать цель

Когда на экране РЛС возникает отметка обнаруженной цели, оператор без особого труда определяет, где эта цель находится, т. е. ее координаты в момент локации. Но сказать уверенно, чья эта цель — свой это самолет (корабль) или вражеский, оператор не может. Ведь отметка лишь условный сигнал о полученном отражении, и только. Неосведомленность о государственной принадлежности цели может привести к роковым последствиям. Так, например, отсутствие приборов опознавания было одной из причин тяжелого поражения тихоокеанского флота США во время японского нападения на Пирл-Харбор. Эта крупнейшая военно-морская база расположена на одном из Гавайских островов. Японцы долго и тщательно готовились, чтобы напасть на нее с воздуха. 7 декабря 1941 года они направили со своих авианосцев к Пирл-Харбору двумя волнами 353 самолета.

Одна из пяти РЛС, имевшихся на острове, была в это время включена и обнаружила приближающуюся армаду самолетов на дальности более 200 км.

Было достаточно времени, чтобы привести в действие сильную противовоздушную оборону базы. Но операторы РЛС, не имевшие опознавательного прибора, сомневались в том, что самолеты чужие. Их доклад о приближающейся крупной группировке авиации в информационный центр базы не был принят во внимание, так как дежурный офицер предположил, что это американские бомбардировщики, перелетающие с континента

США на Гавайские острова. В результате японские самолеты атаковали базу внезапно и, расплачиваясь за свою беспечность, американцы потеряли около двух с половиной тысяч моряков и солдат убитыми. Пять линкоров было потоплено, три линкора и несколько других кораблей повреждено. Кроме того, на аэродромах Пирл-Харбора было уничтожено 188 и повреждено 128 самолетов. Японцы же потеряли всего 29 самолетов.

А вот другой пример. Во время высадки англо-американских войск в Сицилии во время второй мировой войны командование для поддержки морского десанта направило парашютистов. Однако самолеты были встречены ожесточенным огнем зенитной артиллерии своих кораблей. Было сбито 23 самолета с десантниками.

В 1959 году американский вице-адмирал Локвуд признал, что в результате ошибочных атак в период второй мировой войны американцы серьезно повредили более 30 своих кораблей и потопили две подводные лодки.

Как же отличить свои цели от чужих? Для этого надо пометить каждый самолет или корабль каким-то опознавательным знаком, и эта метка должна отчетливо различаться радиолокатором. Радиолокационные приборы опознавания были созданы в самом начале второй мировой войны. В дальнейшем они получили самое широкое применение в авиации, на флоте и в сухопутных войсках.

Для того чтобы самолет или корабль мог послать опознавательный сигнал, на нем устанавливается радиопередатчик. Это автоматическая приемно-передающая станция.

Когда наземная радиолокационная станция облучает объект, радиоволны попадают в антенну ответчика и воздействуют на его приемник, который всегда включен. Воспринятые сигналы преобразуются в приемнике в электрические пусковые импульсы. Они мгновенно включают импульсный передатчик ответчика, посылающий серию радиоволн той же длины, на которой работает станция обнаружения.

На экране радиолокационной станции обнаружения рядом с отметкой, созданной отраженным сигналом, возникает отметка от сигнала ответчика. Она-то и представляет собой опознавательный знак обнаруженного объекта, означающий: «Я — свой».

Чтобы противник не мог послать такой же ответ и ввести в заблуждение оператора, сигналы ответчика автоматически зашифровываются (кодируются) перед тем, как уходят в эфир. Применяемый же код сохраняется в строгой тайне. Если с облученного объекта ответа нет или он не соответствует коду, значит, обнаружен враг.

Поскольку в основу системы опознавания положен импульсный метод, кодирование ответов осуществляется путем посылки определенной серии радиоимпульсов. Коды по определенному расписанию меняются. Можно менять количество и продолжительность импульсов, интервалы между ними, вносить изменения в их группирование.

В передатчике ответчика имеется специальное устройство (шифратор), которое формирует посылаемую серию импульсов в соответствии с принятым кодом. Для изменения кода достаточно сделать нужное переключение на панели прибора.

В автономных системах опознавания обнаружение и опознавание производится независимо друг от друга. Для этого радиолокационной станции придают специальный запросчик. Для наблюдения опознавательных сигналов используются индикаторные устройства РЛС.

Как только оператор обнаружит неизвестный объект, он немедленно включает запросчик. Направленная антенна запросчика, повернутая в сторону объекта, посылает на определенной волне серию радиоимпульсов, означающую вопрос: «Кто ты?». Приемник ответчика, имеющий дешифратор и настроенный на волну запросчика, автоматически включает передатчик, посылающий кодированный ответ тоже на своей особой волне. Таким образом, для обнаружения и опознавания используются разные диапазоны волн.

Из этого и вытекают основные достоинства автономной системы опознавания. Она может обслуживать все радиолокационные станции, состоящие на вооружении, независимо от того, в каком диапазоне волн работают станции обнаружения. Кроме того, ответчик этой системы включается только тогда, когда его «окликают» за-

просчик. А на импульсы обнаружения он совершенно не реагирует, «молчит». Значит, перехватить его сигналы противнику труднее. Приемник же запросчика остается «глухим» к отраженным сигналам. В результате на индикаторе опознавания нет отметок ни от обнаруженных объектов, ни от местных предметов, которые могут помешать работе. В таком случае легче распознать сигнал ответа и увереннее установить принадлежность объекта.

Раздельное наблюдение отметок обнаружения и опознавательных сигналов сделало возможным использовать один и тот же индикатор. Такой индикатор с помощью переключателя переводится или в режим работы с запросчиком или в режим работы с радиолокационной станцией. Однако в некоторых случаях требуется совмещенная картина сигналов на одном общем изображении. Тогда в работе запросчика и радиолокатора предусматривается строгая согласованность, синхронность.

Аппаратура опознавания оказалась необходимой для войск. Наземным войскам она служит для определения самолетов или кораблей, в авиации — для опознавания одним самолетом другого или неизвестного корабля, на флоте — для выяснения принадлежности кораблей, самолетов, всплывших подводных лодок.

Радиолокационный ответчик не только способен сообщить о принадлежности объекта, он может служить своеобразным маяком. Ведь направленная антенна запросчика должна быть повернута к ответчику, чтобы запрос и ответ были получены. Значит, стоит оператору при получении ответа зафиксировать положение антенны и он будет знать направление на ответчик. А если к тому же точно измерить время между отправлением запроса и прибытием ответа, то легко найти и расстояние до ответчика. Таким образом, индикатор запросчика вполне пригоден не только для опознавания, но и для определения дистанций до объекта с ответчиком, на нем же можно отмечать и направление на объект.

Ответчики использовались во время второй мировой войны как приводные радиолокационные маяки для самолетов, возвращавшихся из патрульных полетов над морем. Случалось, что после длительного и утомительного полета, когда горючее уже было на исходе, резко

ухудшались условия видимости и ориентировки. Но летчик без особого труда находил дорогу к своей базе, если там работал радиоответчик, а на борту самолета был запросчик. Кодированные радиоимпульсы, посылаемые в эфир, не только помогали опознать базу, но и служили путеводными сигналами на расстоянии в несколько сотен километров.

Радиолокационные системы, использующие принцип «запрос—ответ» (его называют «активной» радиолокацией), получили широкое применение. В некотором отношении они имеют большое преимущество перед обычной («пассивной») радиолокацией, в которой используется прием отраженных сигналов. Дело в том, что радиоэхо обычно бывает очень слабым. А усилить его и тем самым расширить зону действия радиолокатора за счет повышения мощности излучаемых радиоимпульсов не так-то просто.

В активной радиолокации энергетические соотношения между мощностями излученного и принятого сигналов гораздо выгоднее. Даже маломощный радиоответчик посылает гораздо более сильный сигнал, чем естественное отражение от объекта. Поэтому дальность радиолокационного обнаружения при работе с ответчиками значительно возрастает. Она ограничивается лишь высотой антенн запросчика и ответчика.

Так как радиоответчик не должен обладать большой мощностью, то размеры его сравнительно невелики, и он может устанавливаться на небольших подвижных объектах. Активная радиолокация успешно применяется для определения координат самолетов; ее используют в воздушном и морском флоте. Радиоответчик, расположенный на берегу, — прекрасный ориентир для штурмана корабля. Судоводитель может не только опознать береговой пункт, но и узнать, на каком расстоянии тот находится. А это помогает штурману определить координаты своего корабля. Радиоответчики служат для определения местонахождения световых маяков и бакенов, обозначения фарватеров, а также для других целей.

Как работает радиолокатор?

Работу радиолокационной станции, как и любого другого радиотехнического устройства, лучше всего начать

рассматривать с назначения целых узлов и блоков аппаратуры, выполняющих ту или иную задачу. Для этой цели обычно прибегают к так называемой блок-схеме. Упрощенная блок-схема импульсного радиолокатора изображена на рис. 8.

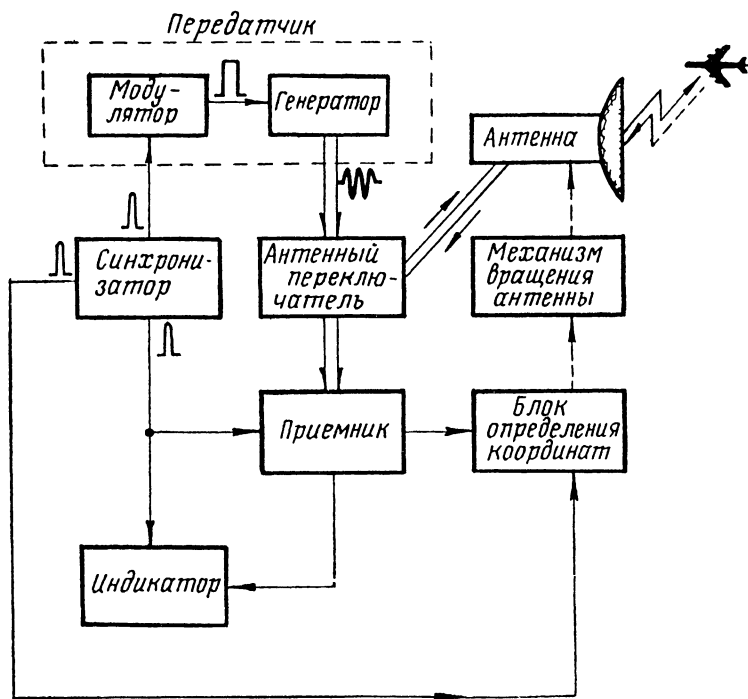


Рис. 8. Упрощенная блок-схема радиолокационной станции (РЛС)

Как следует из блок-схемы, всю аппаратуру можно подразделить на пять основных групп: радиопередатчик, антенную систему, приемник, индикаторное устройство с системой определения координат и управления вращением антенны и синхронизатор. Кроме того, в состав каждого радиолокатора должен входить источник электропитания.

Синхронизатор. Как мы уже знаем, импульсная радиолокационная станция (РЛС) излучает через определенные промежутки времени импульсы радио-

волн. Частоту повторения этих импульсов задает синхронизатор, управляя работой модулятора передатчика. Вместе с тем синхронизатор вырабатывает управляющие сигналы, которые позволяют согласовать по времени с работой передатчика работу приемника, блоков индикации и определения координат, а также определять временные соотношения электрических процессов в ряде других блоков РЛС.

Модулятор управляет работой генератора высокочастотных колебаний, обеспечивая его включение и выключение. Для этой цели модулятор, используя синхронизирующие сигналы, формирует мощные импульсы необходимой амплитуды, формы и длительности.

Как легко заметить, импульсная модуляция является разновидностью амплитудной, так как модулятор фактически изменяет амплитуду генерируемого РЛС сигнала от максимального значения (в момент излучения импульса) до нуля (в период пауз в работе передатчика).

В РЛС, работающих в режиме непрерывного излучения радиоволн, модуляторы могут быть использованы для фазовой или частотной модуляции излучаемого сигнала.

Генератор. Для генерации электромагнитной энергии могут использоваться мощные генераторные высокочастотные триоды, магнетроны и клистроны. При этом триоды используются в основном для генерации волн метрового и дециметрового диапазонов, а магнетроны и клистроны — для генерации волн сантиметрового диапазона.

Антенно - фидерная система. Создаваемые в генераторе передатчика высокочастотные импульсы по фидеру проводятся к антенне и излучаются в пространство. Фидер — это линия передачи электромагнитной энергии от передатчика к антенне (и от антенны к приемнику). Конструкция фидерных линий может быть различной и определяется способностью передавать энергию с наименьшими потерями (принято говорить с наименьшим затуханием энергии).

В РЛС метрового диапазона в качестве фидерных линий может служить гибкий коаксиальный кабель, а иногда и просто двухпроводная линия; в РЛС сантиметрового диапазона — жесткая коаксиальная линия, а

чаще волноводы. Виды линий передач высокочастотной энергии изображены на рисунке 9. Чтобы при неподвижном положении приемно-передающей аппаратуры антенна могла поворачиваться, используются специальные вращающиеся сочленения фидеров.

Для излучения зондирующих импульсов и приема отраженных радиосигналов применяются антенны различных типов и конструкций, обеспечивающие направление излучения и прием.

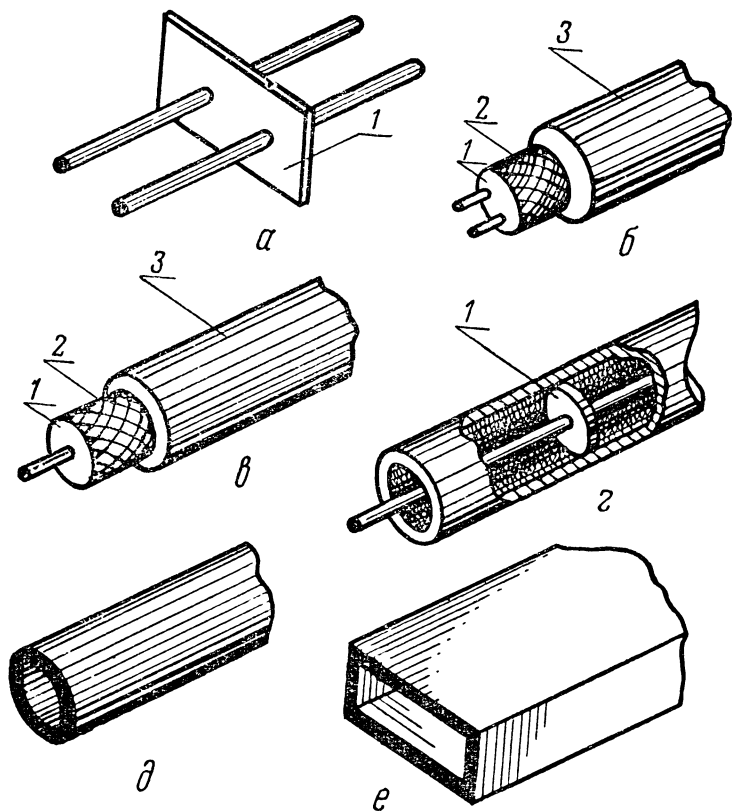


Рис. 9. Линии передачи высокочастотной энергии: а — двухпроводная открытая; б — двухпроводная экранированная; в — коаксиальная гибкая; г — коаксиальная жесткая; д — волновод круглого сечения; е — волновод прямоугольного сечения; 1 — диэлектрик; 2 — внешний экран; 3 — изолятор

В диапазоне метровых волн применяются в основном антенны типа «волновой канал» или антенны с плоскопараллельным расположением излучателей; в сантиметровом диапазоне — параболические, рупорные, щелевые и линзовые антенны. Каждая из антенн имеет свои преимущества и недостатки, и выбор той или

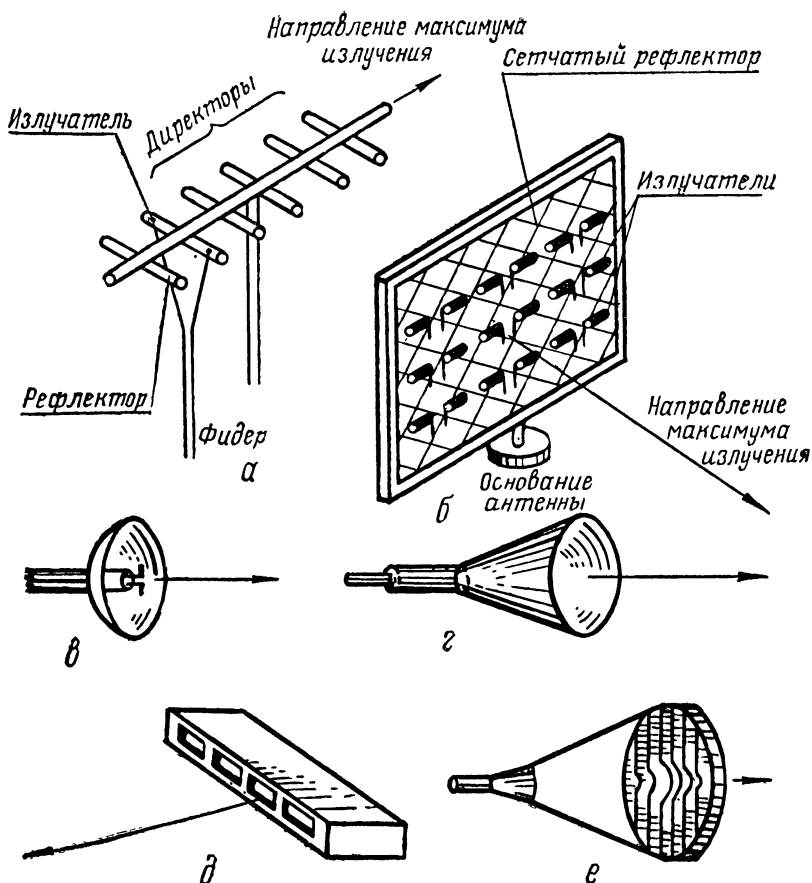


Рис. 10. Направленные антенны РЛС: а — типа «волновой канал»; б — с плосконаправленным расположением излучателей; в — с параболическим отражателем; г — рупорная; д — щелевая; е — линзовая

ной антенны определяется тактическим назначением РЛС и предъявляемыми к ней требованиями. Вид некоторых типов антенн показан на рис. 10.

Антенный переключатель. Импульсный метод работы РЛС позволяет применять для приема отраженных сигналов ту же антенну, что и для излучения зондирующих импульсов, так как между этими импульсами наступает длительная пауза в работе генератора и слабые отраженные сигналы не подавляются мощными импульсами своего передатчика.

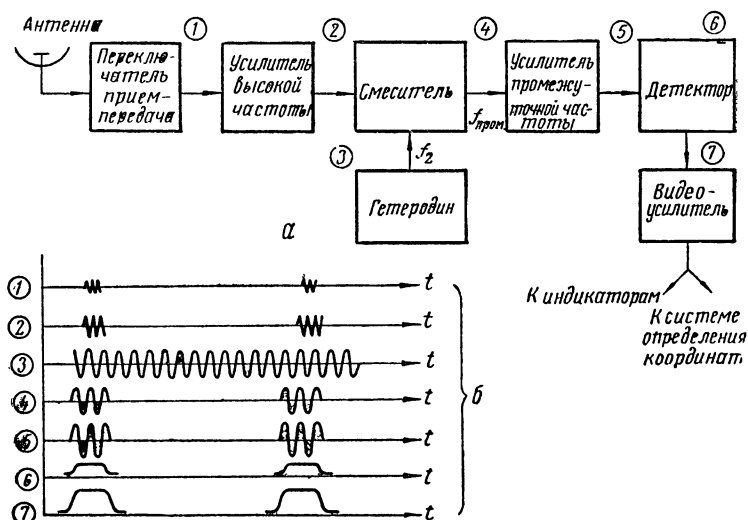


Рис. 11. Блок-схема радиолокационного приемника: а — схема прохождения сигнала; б — эпюры напряжений в схеме

Однако постоянное подключение передатчика и приемника к одной антенне привело бы к порче высокочувствительных входных цепей приемного тракта мощными зондирующими импульсами. Для предотвращения этого приемник присоединяется к антенне не непосредственно, а через специальный электронный переключатель. Этот переключатель автоматически отключает приемник от антенны в момент работы передатчика и вновь подключает его после окончания зондирующего импульса.

Переключатель является автоматическим и его быст-

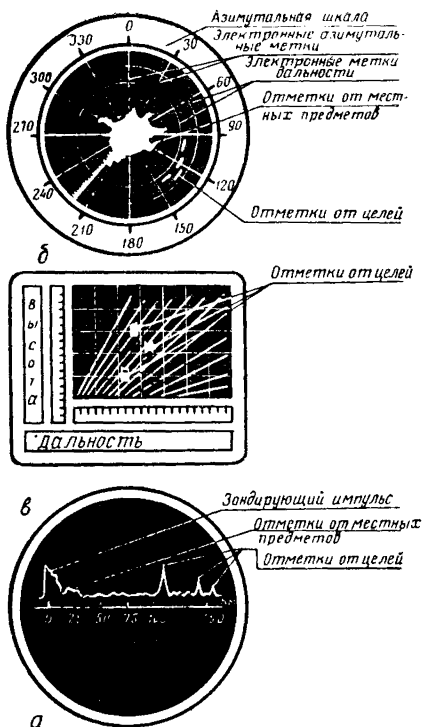


Рис. 12. Виды экранов РЛС: а — индикатор дальности; б — индикатор кругового обзора; в — индикатор высоты

дина, каскады стробирования, передающие к системе определения координат только сигналы от выбранной цели, схемы автоматической регулировки усиления, а также ряд других схем.

Индикаторы. С выхода приемника сигналы от целей поступают в блоки индикаторов и определения координат целей. Индикаторы воспроизводят обстановку в зоне действия РЛС, а также позволяют определять координаты и взаимное положение целей.

В качестве индикаторов РЛС применяются обычно электроннолучевые трубки с электростатическим или с магнитным управлением луча. Виды экранов некоторых индикаторов РЛС приведены на рис. 12.

родействие соответствует назначению (отключение и подключение осуществляется за сотые или десятые доли микросекунды).

Приемник РЛС служит для усиления поступающих отраженных от целей сигналов и преобразования их к виду, удобному для дальнейшего использования (например, для индикации).

Блок-схема приемника РЛС изображена на рис. 11. Схема достаточно наглядна и не требует особых пояснений.

Схемы приемников многих типов РЛС имеют, кроме указанных на рис. 11 элементов, еще ряд дополнительных устройств, таких, например, как схемы автоматической подстройки частоты гетеро-

Блок определения координат используется для точного определения координат отдельных целей, выбранных оператором РЛС для сопровождения. При этом сопровождать цель оператор может вручную, совмещая с отметкой от цели на индикаторе специальный визир, связанный механически или электрически с блоком определения координат. Кроме ручного, может быть осуществлено еще и автоматическое сопровождение. При этом визир следит за целью автоматически.

Координаты целей, сопровождаемых РЛС, индицируются на соответствующих шкалах; оператор считывает эти координаты со шкал и передает на пункт управления, где они используются для различных целей (например, для наведения на эти цели истребителей-перехватчиков, для наглядного отображения на больших картах-планшетах и т. п.).

Основные характеристики РЛС

В последующих главах (да и в этой) довольно часто придется оперировать различными терминами, относящимися к тактико-техническим параметрам радиолокаторов, — такими, например, как дальность действия, пределы работы, точность определения координат, разрешающая способность, период обзора. Очевидно, необходимо хотя бы очень кратко рассмотреть некоторые из этих параметров, с тем чтобы глубже усвоить сущность работы радиолокационных станций.

Дальность действия РЛС — это максимальная дальность, на которой могут быть уверенно обнаружены цели и определены их координаты. Дальность действия РЛС зависит от ее технических параметров, отражающих свойств цели и еще от ряда других причин. Этот вопрос уже рассматривался в данной главе в разделе, который мы назвали: «В чем преимущества непрерывной радиолокации перед импульсной?».

Пределы работы РЛС определяются формой диаграммы обнаружения. Такие диаграммы, построенные с учетом мощности передатчика, чувствительности приемника, влияния земли, свойств антенны и других факторов, характеризуют дальность обнаружения целей различных типов. Примерный вид одной из воз-

можных диаграмм обнаружения воздушных целей наземной РЛС представлен на рис. 13. Из рисунка видно, что бомбардировщик, летящий на высоте 6 км, будет

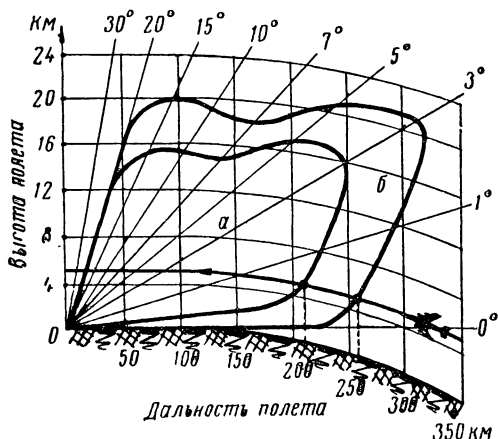


Рис. 13. Примерный вид диаграммы обнаружения наземной РЛС: *a* — диаграмма обнаружения истребителя; *b* — диаграмма обнаружения бомбардировщика

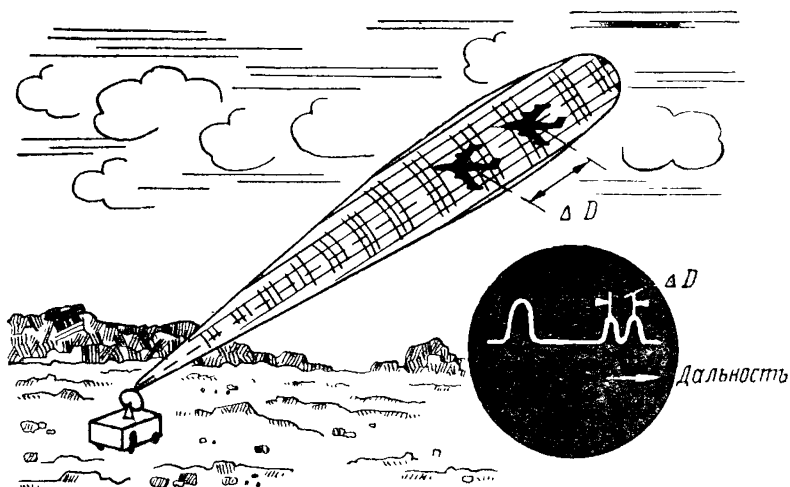


Рис. 14. К пояснению разрешающей способности РЛС по дальности

обнаружен на дальности 260 км, а истребитель — только на дальности 200 км.

Разрешающая способность РЛС. Под термином «разрешающая способность» понимают способность РЛС отдельно регистрировать сигналы от целей, находящихся на некотором расстоянии одна от другой. Различают разрешающую способность по дальности и по угловой координате.

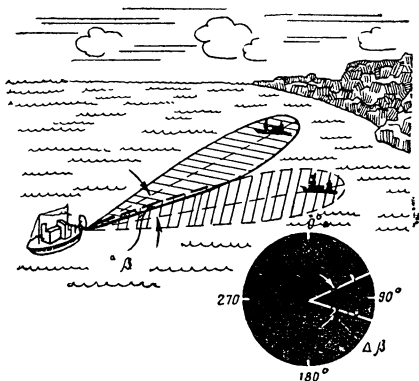


Рис. 15. К пояснению разрешающей способности РЛС по угловой координате

Разрешающая способность по дальности характеризует минимальное расстояние между двумя соседними целями (взятое по направлению на РЛС), при котором эти цели, находясь в луче станции, отдельно наблюдаются на экране индикатора. Как видно из рис. 14, разрешающая способность станции по дальности зависит от длительности излучаемого импульса и от масштаба развертки дальности индикатора.

Разрешающая способность станции по угловой координате определяет тот минимальный угол, при котором две соседние цели, находящиеся на одинаковом расстоянии от РЛС, будут наблюдаться отдельно. На рис. 15 показаны сигналы от двух близко расположенных целей на индикаторе кругового обзора. Как видно из рисунка, разрешающая способность по угловой координате зависит главным образом от ширины раствора диаграммы направленности антенны, определяющего размер меток на экране индикатора.

ГДЕ И КАК ПРИМЕНЯЕТСЯ РАДИОЛОКАЦИЯ?

Радиолокаторы войск противовоздушной обороны

В настоящее время войска противовоздушной обороны (ПВО) являются таким видом вооруженных сил, в котором радиолокационные средства применяются исключительно широко. Если учесть, что задачей войск ПВО является уничтожение воздушного противника, а современные средства воздушного нападения обладают громадными скоростями полета и могут нести на борту оружие колоссальной разрушительной силы, то естественно напрашивается вывод: противника надо уничтожить до того, как он сумеет осуществить свой замысел (например, сбросить бомбу на обороняемый объект).

Для выполнения своей задачи войскам ПВО необходимо, во-первых, как можно раньше обнаружить воздушного противника, во-вторых, определить координаты и параметры движения воздушной цели, в-третьих, передать информацию о воздушном противнике на активные средства и осуществить наведение этих активных средств на противника с целью его уничтожения.

Для решения задач борьбы со средствами воздушного нападения противника и определена организационная структура войск ПВО. Так, для разведки воздушного противника используется такой род войск ПВО, как радиотехнические войска (РТВ), а для непосредственной борьбы с вражеской авиацией такие рода войск, как зенитные ракетные войска (ЗРВ) и истребительная авиация (ИА).

Каждый род войск, в соответствии с поставленными перед ним задачами, имеет разнообразные радиолокационные средства. В РТВ, например, применяются радиолокационные станции обнаружения и радиолокационные высотомеры, предназначенные для обнаружения воздушных целей, летящих на различных высотах. Эти радиолокационные станции позволяют точно определить координаты всех целей, находящихся в зоне их видимости.

ЗРВ для ведения боевых действий должны иметь свои радиолокационные станции для разведки и целеуказания, а также для наведения зенитных управляемых ракет на цели, подлежащие уничтожению.

В ИА применяются как аэродромные радиолокационные станции, так и бортовые радиолокаторы различного назначения.

Обо всех этих радиолокационных средствах мы и попытаемся рассказать, используя главным образом данные о зарубежных средствах ПВО.

Основным средством обнаружения воздушного противника являются радиолокационные станции. Среди всего многообразия радиолокационных средств главными являются радиолокаторы обнаружения. Они используются для обнаружения самолетов, крылатых ракет и других летательных аппаратов противника с целью своевременного приведения в боевую готовность активных средств ПВО.

Эти станции должны обнаруживать средства воздушного нападения на максимально возможном удалении их от государственной границы или линии фронта, определять характер и состав целей и непрерывно их сопровождать вплоть до момента, когда они будут уничтожены истребительной авиацией или зенитными ракетными войсками.

Большие дальности обнаружения требуются вследствие высоких скоростей полета современных средств воздушного нападения и связанной с этим скоротечностью воздушного боя. Так, например, если скорость бомбардировщика составляет 3000 км/ч, то он может появиться в районе обороняемого объекта, находящегося в 1000 км от границы или линии фронта, примерно через 20 мин после пересечения границы. Естественно, для того чтобы успеть привести в боевую готовность средства ПВО и уничтожить противника, пока он не достиг объекта бомбометания, его самолеты должны быть обнаружены на максимально возможном удалении.

Это требование особенно важно при обороне объектов, расположенных вблизи государственной границы, на берегу моря или в прифронтовой полосе.

РЛС обнаружения, как правило, работают в режиме кругового (или во всяком случае секторного) обзора, осуществляя последовательный обзор воздушного пространства. При этом, если скорость вращения антенн этих РЛС составляет 2—6 об/мин, то при таких периодах обзора (30—10 сек) даже скоростная цель (летающая, например, со скоростью 1000 м/сек) переместится за один обзор всего на 30—10 км.

Дальность обнаружения воздушных целей у таких РЛС довольно большая — несколько сотен километров. Увеличение дальности обнаружения достигают путем подъема антенн РЛС на большую высоту (на холмы, специально построенные вышки или на искусственные насыпи).

В станциях обнаружения обычно применяют индикаторы кругового обзора, на экранах которых отметки от целей сохраняются в течение полного оборота антенны. Это позволяет наиболее наглядно воспроизвести воздушную обстановку в зоне действия РЛС.

Радиолокаторы могут располагаться на местности в определенном порядке и на таком расстоянии один от другого, чтобы их зоны обнаружения, перекрываясь, создавали сплошное радиолокационное поле. Однако такое поле, созданное в расчете на цели, летящие на средних и больших высотах, будет иметь участки, через которые цели, летящие на малых высотах, могут пройти незамеченными.

Для обнаружения низколетящих целей в промежутках между мощными РЛС обнаружения обычно устанавливают специальные, так называемые мало-высотные РЛС. Эти станции имеют меньшую мощность и, следовательно, меньшую дальность обнаружения, однако диаграммы направленности их антенн позволяют просматривать пространство под малыми углами к горизонту и обнаруживать цели, летящие на малых высотах. Вид радиолокационного поля, создаваемого РЛС дальнего обнаружения и маловысотными РЛС, показан на рис. 16. Такой метод перекрытия непросматриваемых участков применен, например, в линиях радиолокационного предупреждения на севере США.

Боевая работа на РЛС дальнего обнаружения осуществляется, как правило, непрерывно, обеспечивая по-

стоянное наблюдение за воздушной обстановкой. Операторы, наблюдая за экранами индикаторов кругового обзора, обнаруживают отраженный от цели сигнал, определяют координаты обнаруженной цели и сообщают эти координаты на командный пункт. Вместе с координатами обычно передаются характеристики цели (свой

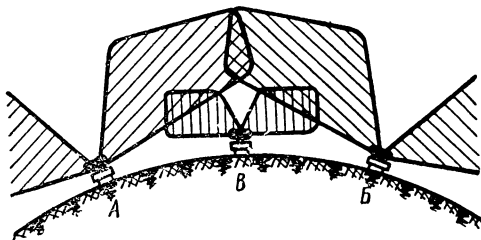


Рис. 16. Образование сплошного радиолокационного поля с помощью РЛС дальнего обнаружения (А, Б) и маловысотной РЛС (В)

самолет или самолет противника. цель одиночная или групповая и др.).

Если на экранах индикаторов появились отметки от нескольких целей, операторы последовательно передают на командный пункт данные о каждой из них.

Таким образом, при боевой работе на командном пункте сосредотачиваются данные о воздушной обстановке в зоне действия всех радиолокационных станций, обслуживающих этот командный пункт.

Заметим, что РЛС обнаружения могут устанавливаться не только на земле. Они могут устанавливаться и на специально оборудованных самолетах и кораблях. Это позволяет значительно раньше обнаруживать воздушные цели.

Каждая РЛС обнаружения (как, впрочем, и большинство остальных типов РЛС) имеет аппаратуру опознавания. Сущность работы этой аппаратуры описана в предыдущих разделах.

Как уже было сказано, кроме РЛС обнаружения, применяются и маловысотные РЛС. Они используются для обнаружения воздушных целей, летящих на малых высотах.

Известно, что УКВ радиоволны распространяются в пространстве прямолинейно и дальность действия РЛС

определяется в общем случае геометрической видимостью двух точек: РЛС — цель. Если цель находится за линией горизонта, то РЛС ее не «видит».

Кроме того, из теории распространения радиоволн известно, что чем выше над поверхностью земли поднята антенна, тем диаграмма ее направленности ниже опущена к земле.

Исходя из этих двух положений, антенны маловысотных РЛС стараются поднять как можно выше. Это позволяет обнаруживать на сравнительно большом удалении цели, летящие на малых высотах. Сказанное наглядно иллюстрируется рис. 17.

В задачи радиолокационных средств входит, кроме обнаружения воздушных целей, и наведение на них истребителей-перехватчиков. Эту задачу выполняют с помощью РЛС наведения.

Навести истребитель-перехватчик на цель—это значит задать ему такой маршрут движения, чтобы он вышел в нужный момент времени в вполне определенную точку пространства, из которой летчик смог бы не только обнаружить цель своим радиоприцелом, но и атаковать ее (произвести пуск самонаводящихся ракет).

Очевидно, эти требования может выполнить радиолокатор, обладающий достаточными точностными характеристиками, т. е. такой радиолокатор, который способен определять координаты целей с точностью, необходимой для надежного решения задачи наведения.

Так вот, РЛС наведения — это и есть радиолокатор, обладающий повышенными точностными характеристиками.

Увеличение точности определения координат достигается за счет применения узкой диаграммы направленности антенной системы, что увеличивает не только точность определения азимута, но и разрешающую способность по азимуту.

Кроме того, в РЛС наведения используют короткие зондирующие импульсы, что увеличивает не только точность определения дальности, но и разрешающую способность по дальности.

РЛС наведения обычно являются мощными станциями, что позволяет осуществлять наведение на значительных дальностях. Операторы РЛС наведения непре-

рывно сопровождают обнаруженные цели противника, а также свои истребители и сообщают координаты тех и других на командный пункт, на котором штурман наведения, анализируя обстановку, решает задачу наведения и передает летчику данные, необходимые для выхода истребителя на рубеж атаки.

Особенно важно для надежного перехвата целей точно знать высоты их полета. Поэтому РЛС наведения

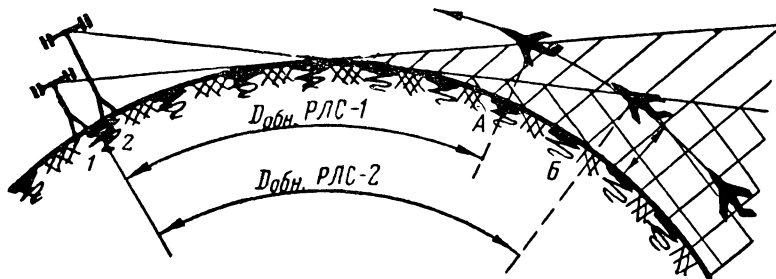


Рис. 17. К пояснению дальности обнаружения маловысотных целей

подбирают таким образом, чтобы они могли определять не только азимут и дальность до целей, но и высоту их полета. В идеальном случае это должны быть такие трехкоординатные РЛС, основной особенностью которых является игольчатая (очень узкая) диаграмма направленности антенны, благодаря чему определяется не только азимут цели, но и ее угол места. В дальнейшем в специальном счетно-решающем приборе производится пересчет по формуле:

$$H = D \cdot \sin \epsilon,$$

где ϵ — угол места цели.

Если в качестве РЛС наведения используется двухкоординатная РЛС, то для определения высоты полета цели используются радиолокационные высотомеры.

Антенна высотомера может вращаться по азимуту и качаться по углу места. Высотомер наводится по азимуту на цель, высоту полета которой необходимо определить. Облучение цели производится качающейся в вертикальной плоскости диаграммой направленности. Отраженный от цели сигнал попадает на индикатор

«Высота—дальность» и с него непосредственно считывается значение высоты полета цели. Вид такого индикатора приведен на рис. 12,в.

Следует отметить, что высота полета целей нужна не только для наведения истребителей. Она используется еще и для целеуказания зенитным ракетным войскам.

Современная классификация систем управления ракетами различных классов включает три основных группы систем: системы самонаведения, системы дистанционного управления и автономные системы управления.

В зарубежных зенитных ракетных комплексах (ЗРК) чаще применяют системы, относящиеся к первой и второй группам. В ракетах, оборудованных системами самонаведения, устанавливается аппаратура, которая автоматически заставляет ракету в ее полете наводиться на цель. При наведении ракет с помощью систем дистанционного управления положение ракеты относительно цели определяется на земле. Здесь же вырабатываются команды управления, которые передаются на борт ракеты. Принятые ракетой команды преобразуются в поворот рулей, и ракета движется навстречу цели по командам с земли.

Рассмотрим коротко принцип работы каждой из этих двух групп систем управления.

Системы самонаведения. По принципу использования излучаемой или отраженной энергии системы самонаведения подразделяются на три основных категории: пассивные, активные и полуактивные. При пассивном самонаведении (рис. 18,а) ракета наводится на цель, которая сама является источником излучаемой энергии (например, тепловой). В этом случае на борту ракеты устанавливается приемное устройство, способное принимать излучаемую целью энергию.

При активном самонаведении (рис. 18,б) на ракете устанавливается передатчик, облучающий цель, и приемник, принимающий отраженную от цели энергию. Широкого применения активное самонаведение не получило из-за громоздкости и сложности бортовой аппаратуры.

При полуактивном самонаведении (рис. 18,в) передатчик помещается вне ракеты (на земле), а следова-

тельно, может быть гораздо большей мощности. На ракете же устанавливается только приемное устройство. Дальность действия полуактивных систем наведения больше, чем активных и пассивных.

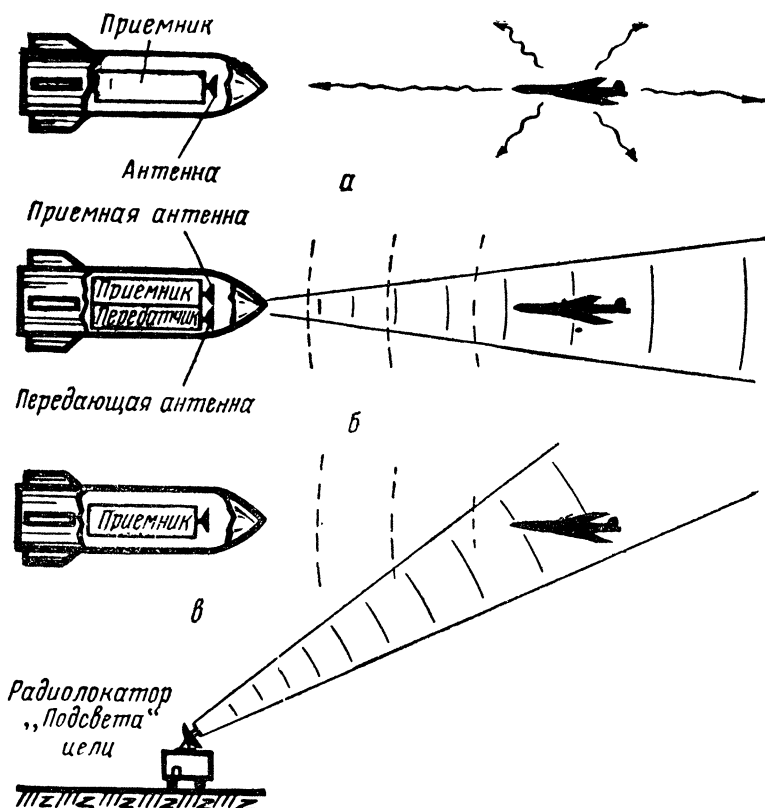


Рис. 18. Принцип действия систем самонаведения: а — пассивной; б — активной; в — полуактивной

Системы дистанционного управления. К радиолокационным системам самонаведения близко примыкает система наведения по лучу радиолокатора (рис. 19), относящаяся к группе систем дистанционного управления. В этой системе на пункте управления устанавливается радиолокатор сопровождения це-

ли. После того как цель обнаружена, луч радиолокатора все время следит за целью, а ракета, на которой установлена приемная и другая аппаратура, стремится лететь по оси луча прямо на цель. При смещении ракеты относительно оси луча бортовая аппаратура наведения автоматически определяет это смещение и вырабатывает такие команды, которые заставляют ракету возвратиться на ось луча. Таким образом ракета сама наводится на цель по лучу, который непрерывно следит за целью. От систем самонаведения система наведения по лучу радиолокатора отличается тем, что в ней ракета хотя и сама управляется, но движется по лучу «слепо», независимо от того, сопровождает ли радиолокатор цель или нет.

Из систем дистанционного управления довольно широко распространены командные системы. Сущность работы командной системы управления состоит в следующем (рис. 20).

Радиолокатор сопровождения цели и ракеты непрерывно сопровождает цель, определяя ее текущие координаты — азимут, угол места и дальность ($\beta_{ц}$, $\epsilon_{ц}$ и $D_{ц}$). В луч радиолокатора встреливается ракета. Сразу же после старта ракеты в работу включается радиопередатчик команд, посылающий на ракету запросные сигналы. На борту ракеты эти сигналы принимает приемник, который на каждый сигнал запроса включает ответчик и сигналы ответчика принимаются радиолокатором сопровождения цели и ракеты, который определяет по этим сигналам координаты ракеты — $\beta_{р}$, $\epsilon_{р}$ и $D_{р}$. Координаты цели и ракеты поступают в счетно-решающее устройство, которое на основе их сравнения и анализа вырабатывает команды управления. Эти команды через радиопередатчик команд передаются на борт ракеты, где они принимаются и преобразуются в поворот рулей ракеты, заставляя ее двигаться по задаваемой с земли траектории. Часто радиолокатор сопровождения цели и ракет, счетно-решающее устройство и радиопередатчик команд представляют собой объединенный комплекс, который называют станцией наведения ракет.

Рассмотрим теперь, какие требования предъявляют за рубежом к станциям наведения ракет.

Первое требование: максимально возможная дальность обнаружения целей. Ведь чем раньше обнаружена цель, тем раньше она может быть уничтожена ракетой, а это очень важно — уничтожить цель до того, как она приступит к выполнению своей боевой задачи.

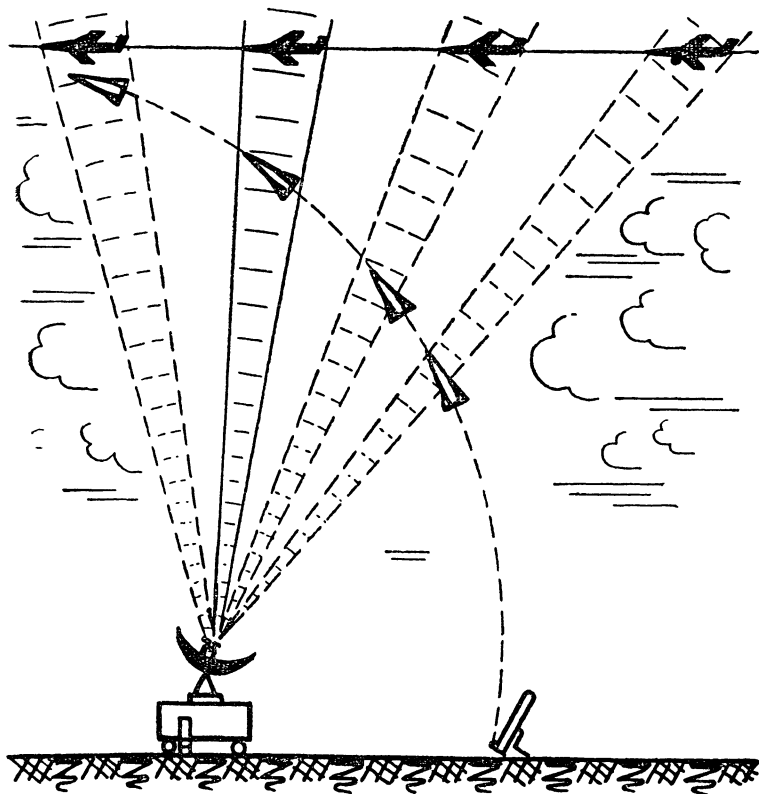


Рис. 19. Принцип действия системы самонаведения по лучу РЛС

Большой дальности действия станций наведения ракет добиваются применением целого ряда весьма эффективных мер. К таким мерам относится создание большой импульсной мощности передатчика. Антенная система позволяет сосредоточить эту мощность в узком луче диаграммы направленности. Поиск цели такой

«игольчатой» диаграммой был бы затруднен. Поэтому для облегчения поиска эту диаграмму направленности заставляют перемещаться в заданном секторе. С большой скоростью (за доли секунды) диаграмма «обозревает» этот сектор. Такое быстрое перемещение луча в секторе называется сканированием

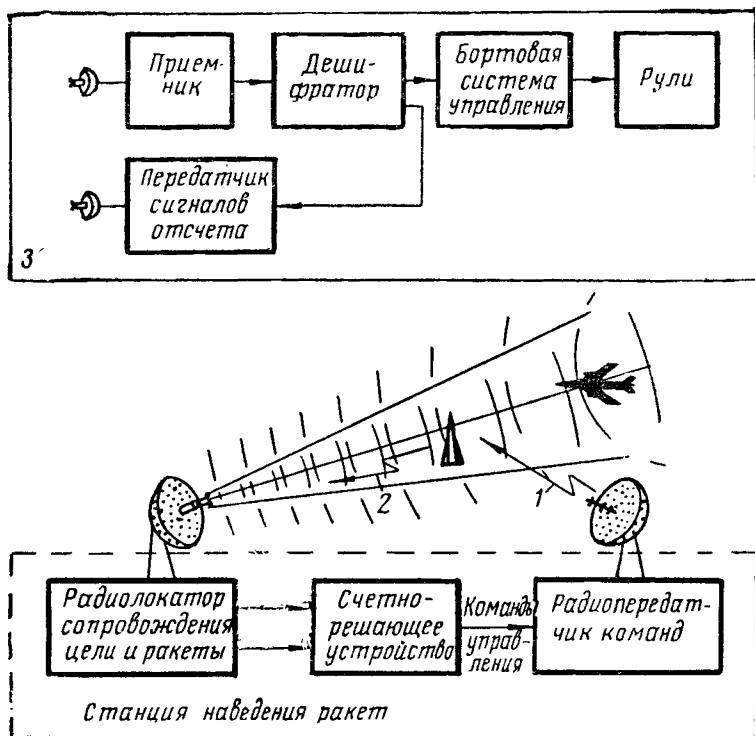


Рис. 20. К пояснению сущности работы командной системы управления ЗУР: 1 — сигналы запроса и команды управления; 2 — сигналы ответчика ракеты; 3 — блок-схема бортовой аппаратуры ракеты

луча. Луч сканирует по горизонтали в пределах сектора, опускаясь с каждым шагом вниз на ширину луча. Наглядно сканирование луча поясняется рис. 21. Приемное устройство станции наведения ракет отли-

чается довольно большой чувствительностью, что также повышает дальность обнаружения, особенно малоразмерных целей.

Второе требование: высокая точность определения координат цели и ракет. Это требование выполняется как за счет узкой диаграммы направленности, так и за счет уменьшения длительности зондирующего сигнала. Координаты ракеты определяются достаточно точно, так как импульс ответчика ракеты также очень короткий. Кроме того, станция наведения ракет снабжена системой автоматического сопровождения цели — это снижает ошибки определения координат по сравнению с ручным сопровождением цели человеком-оператором.

Третье требование — высокая помехоустойчивость. Это требование выполняется за счет оснащения радиолокатора специальной аппаратурой защиты как от активных, так и от пассивных помех.

Защита от активных помех достигается путем практически мгновенной перестройки передающего и приемного трактов на запасные частоты. От воздействия пассивных помех станция наведения ракет защищается специальной аппаратурой селекции движущихся целей. Она позволяет различать быстро летящий самолет на фоне медленно движущегося по ветру облака металлизированных лент, а также на фоне неподвижных местных предметов.

Работа боевого расчета операторов станции наведения ракет сводится в общих чертах к следующему.

Оператор наведения, получив целеуказание, т. е. координаты цели, наводит антенную систему на цель так, чтобы биссектриса сектора сканирования луча (см. рис. 21) пересекла ее. Обстановку оператор наблюдает по индикатору наведения, примерный вид которого показан на рис. 22. Это индикатор с растровой разверткой, подобной телевизионной; растр создается за счет сканирования луча диаграммы направленности антенны. Затем оператор совмещает отметку следящей системы дальности с целью. Таким образом, цель оказывается в перекрестии биссектрисы сектора сканирования и отметки дальности.

Теперь вступают в действие операторы сопровождения цели. Каждый из них сопровождает цель по одной из координат. Работа их сводится к тому, что каждый

совмещает отметку от цели с отметкой следящей системы по своей координате и затем включает систему автоматического сопровождения по этой координате. Теперь станция сопровождает цель автоматически по всем координатам (на рис. 22 это цель № 1).

Счетно-решающее устройство анализирует параметры движения цели и определяет момент пуска ракет. От-

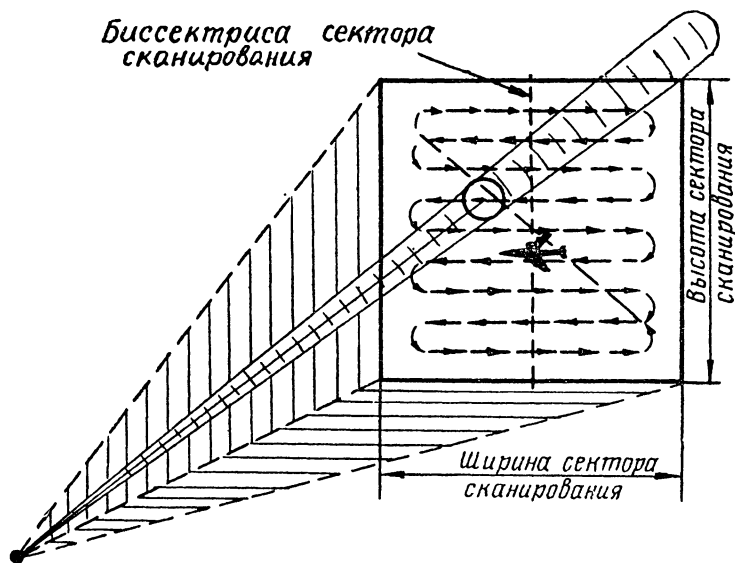


Рис. 21. К пояснению сканирования луча диаграммы направленности антенны станции наведения ракет

метка летящей к цели ракеты видна на экране индикатора наведения.

Ракета автоматически сопровождается следящими системами станции наведения ракет по всем координатам. Счетно-решающее устройство на основе анализа координат ракеты и цели вырабатывает команды управления ракетой в полете. Эти команды передаются в радиопередатчик команд (см. рис. 20), с которого они подаются на борт ракеты. Здесь команды принимаются приемником, дешифрируются, поступают на бортовую систему управления и оттуда на рули. Рули поворачи-

ваются на определенный угол, заставляя тем самым ракету двигаться в направлении цели.

Уточним теперь, зачем же нужен ответчик на ракете. Дело в том, что не будь ответчика, на станцию приходил бы сигнал, отраженный от ракеты. А так как отраженный сигнал по мере удаления ракеты был бы все слабее и слабее, то сопровождение ракеты было

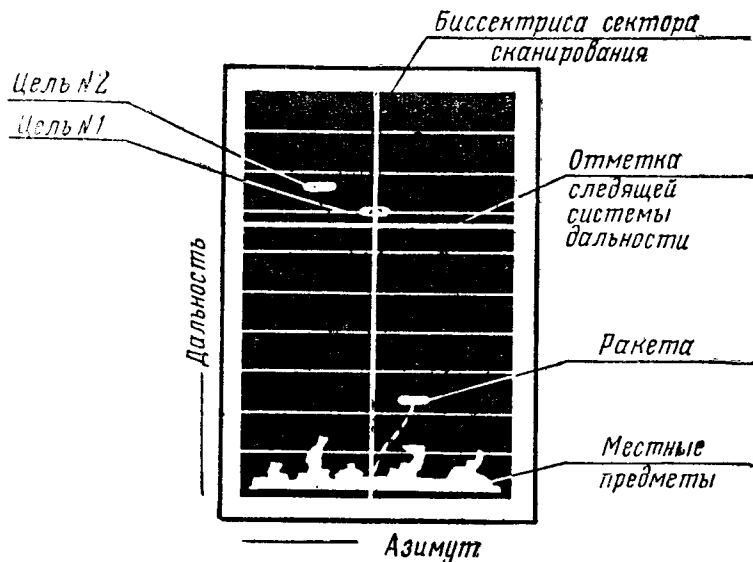


Рис. 22. Примерный вид индикатора наведения станции наведения ракет

бы все менее надежным. Наличие же ответчика дает возможность использовать прямой сигнал, поступивший от ракеты; он гораздо мощнее на входе приемника и потому сопровождение его более надежно.

Мы рассмотрели работу зенитного ракетного комплекса, использующего командную систему управления ракетой в полете. Существуют ракетные комплексы, использующие и различные методы самонаведения ракет, однако описание их работы заняло бы слишком много места. Скажем только, что сущность боевой ра-

боты расчетов любых зенитно-ракетных систем сводится к описанной нами выше.

В заключение следует отметить, что в зенитных ракетных войсках для разведки воздушного противника применяются радиолокационные станции разведки и целеуказания.

Кроме того, в зенитных ракетных войсках широко применяются автоматизированные системы управления, позволяющие резко улучшить решение таких задач, как целеуказание и наведение станций наведения ракет на выбранные для уничтожения цели.

Радиолокация в авиации

Одно из основных требований, предъявляемых к авиации в современных условиях, — непрерывность воздействия ее на противника с воздуха. Это означает, что авиация на всем протяжении боя днем и ночью, в простых и сложных метеорологических условиях должна оказывать действенную поддержку наземным войскам или Военно-Морскому Флоту.

В период минувшей войны бомбардировочная и истребительная авиация еще не располагала необходимым оборудованием, обеспечивающим в полной мере выполнение боевых задач в любых метеорологических условиях днем и ночью. Поэтому сложные метеорологические условия в значительной степени ограничивали возможности боевого применения авиации, особенно в составе больших групп самолетов.

Интенсивное развитие радиолокационной техники в послевоенный период позволило вооружить современные самолеты-бомбардировщики и самолеты-истребители радиолокационными средствами различного назначения, в результате чего боевые возможности авиации значительно повысились. В настоящее время зависимость боевых действий Военно-Воздушных Сил от метеорологических условий и времени суток сведена до минимума. Почти все сведения, необходимые экипажу самолета в полете, в состоянии обеспечить радио и радиолокация, которые недаром называют глазами современной авиации.

С самого начала второй мировой войны воюющие стороны интенсивно использовали бомбардировочную

авиацию для нанесения массированных ударов по различным объектам. Это вызвало, в свою очередь, быстрое развитие одного из основных средств ПВО — истребительной авиации, где широкое применение нашли наземные радиолокационные станции обнаружения и наведения.

Когда самолеты противника приближались к рубежу обороны, станция обнаружения передавала их «с рук на руки» станциям наведения истребителей, которые в это время уже находились в воздухе. Наблюдая на экранах индикаторов за положением своих и вражеских самолетов, оператор станции наведения передавал пилотам истребителей команды на уточнение курса, скорости или высоты полета.

Вот пример умелого использования станций наведения нашей истребительной авиацией в период Великой Отечественной войны.

Это был один из самых больших воздушных боев на Балтике. Более 100 фашистских бомбардировщиков и истребителей приближалось со стороны моря к нашей военно-морской базе. Операторы на радиолокационной станции следили за врагом. Фашисты летели с разных направлений. Требовалось огромное внимание. Намерения врага были ясны. На экранах курсы всех «юнкеров» сходились в одной точке — точке базирования кораблей.

Командир соединения гвардейцев-истребителей полковник Корешков, находившийся на станции наведения, по радио отдал приказ приготовить к вылету эскадрильи перехвата.

Бой разыгрался над заливом. Радиоприказ командира соединения вывел истребителей на дальние подступы к базе. Одна за другой советские эскадрильи набирали высоту и своим огнем преграждали путь первым эшелонам «юнкеров». Казалось, что первая атака врага была отбита. Но со стороны ослепительного майского солнца появилась десятка «Фокке-вульфов-190». Они пытались привлечь к себе внимание советских истребителей. Но их замысел разгадал полковник Корешков.

Через десять минут половина первой волны бомбардировщиков была уничтожена. Но к району кораблей шли другие волны тяжелых самолетов. Минутная передышка сменилась еще более жестоким сражением. Те-

перь уже не 10, а 35 «фокке-вульфов» рвались в бой, чтобы пробить брешь в обороне наших «лавоочкиных» и пропустить ожидающие в стороне бомбардировщики. «Юнкерсы» летали поблизости, образовав большой круг.

Полковник Корешков, следивший за ходом боя и ни на минуту не отходивший от экрана радиолокатора, с тревогой следил за новой группой «юнкерсов», появившихся в дальнем секторе экрана. Маршруты первых бомбовозов были ясны, но куда идут эти?

Они не приближались, а циркулировали в одном и том же углу экрана: то поворачивали назад, то шли к морю. Нет, это не могло быть просто «утюжкой воздуха». Здесь что-то неладно. Полковник спросил:

— Сколько времени наши самолеты в воздухе?

— Тридцать пять минут, — ответил офицер.

— Ясно, — произнес полковник. — «Юнкерсы» ждут, когда «лавоочкины» израсходуют горючее, но не выйдут!

Командир отдал приказание на командный пункт полка:

— Поднять эскадрилью! Дальнейшие указания в воздухе!

Немцы не подозревали, что их план разгадан. По-прежнему на экране виднелась группа бомбардировщиков и по-прежнему вражеские истребители лезли в атаку и отскакивали от наших «лавоочкиных». Уже 14 фашистских самолетов было сбито. В это время эскадрилья, поднятая по приказу полковника в воздух, набрала высоту и приняла новый сигнал со станции наведения.

— Майор Башкиров, — приказали с земли, — ваша задача: внезапным ударом разбить и по возможности уничтожить всю новую группу. Главное — внезапно.

— Есть, внезапно, — раздался голос офицера.

Все 10 наших истребителей открыли губительный огонь по резервной группе гитлеровцев. В течение нескольких минут она была разгромлена.

Полковник Корешков направил группу Башкирова на помощь тем, кто защищал корабли. Она изменила курс почти на 180 градусов и зашла в тыл основной группе бомбардировщиков, которым удалось пройти на ближайшие подступы к военно-морской базе.

Эскадрилья Башкирова разделилась и нанесла удар с фланга и тыла. Наши гвардейцы с подходом Башкирова перешли в решительную атаку. Они добивали фашистов, ошеломленных внезапным ударом эскадрильи Башкирова. Вода в заливе бурлила от сотен бомб, которые в беспорядке сбрасывали вражеские самолеты.

Гитлеровцы были рассеяны, но четыре бомбардировщика противника все же прошли вперед. На командном пункте были приняты меры к их уничтожению.

Находившийся в воздухе старший лейтенант Алпатов получил приказ выйти из боя и идти по новому курсу. С земли за ним следили и наводили на врага.

Вот на экране пересеклись курсы «юнкерса» и «лавочкина».

— Иду в атаку! — сообщает Алпатов.

Через несколько мгновений полковник Корешков наводит его на другой самолет врага — вторая победа. Затем третья.

— Товарищ полковник, полный порядок, — рапортует Алпатов.

— Вижу, — отвечает полковник.

Всего гвардейцы сбили 20 фашистских самолетов и несколько повредили. Ни на один корабль Краснознаменного Балтийского флота не упала бомба врага.

Задачи перехвата могут решаться при совместном использовании самолетной станции перехвата и наземной станции обнаружения и наведения. Штурман наведения наземной станции, наблюдая на экране индикатора за отметками своих и вражеских самолетов, выводит истребители совсем близко к объекту атаки, чтобы цель оказалась в зоне действия бортового локатора истребителя, после чего подается команда с земли о включении станции перехвата. Дальнейшее сближение с противником и выход в атаку производится по данным самолетной станции перехвата и прицеливания.

Современная радиолокационная станция перехвата и прицеливания представляет собой импульсный радиолокатор, работающий в сантиметровом диапазоне волн.

Летчик истребителя-перехватчика, после того как самолет выведен в район цели с помощью наземной РЛС, должен обнаружить цель, произвести прицеливание и пустить ракету. Наиболее простым радиоло-

кационным устройством, применяемым для этого, является радиолокационный дальномер.

Антенна радиолокационного дальмера размещается обычно в носовой части истребителя и имеет довольно широкую неподвижную диаграмму направленности, ось которой совмещена с продольной осью самолета. Для сохранения обтекаемой формы самолета антенна закрыта обтекателем из радиопрозрачного материала. Рядом с антенной размещаются высокочастотные блоки (передатчик и входные элементы приемного устройства). Индикаторный блок находится в кабине летчика.

Обнаружив вражеский самолет на индикаторе дальмера, летчик определяет дальность до него, что дает ему возможность определить момент открытия огня из стрелково-пушечного вооружения или момент пуска неуправляемых ракет. Прицеливание по угловым координатам производится с помощью оптического прицела.

Бортовым дальномером удобно пользоваться в дневных условиях, когда цель может быть обнаружена летчиком визуально. Однако в случаях, когда истребителям-перехватчикам приходится действовать ночью и в сложных метеорологических условиях, самолеты оборудуются бортовыми РЛС перехвата и прицеливания. Эти станции, в отличие от дальномеров, определяют не только дальность, но и угловые координаты целей. Обзор пространства в вертикальной и горизонтальной плоскостях осуществляется качанием диаграммы направленности антенны (рис. 23).

Станции этого типа имеют, как правило, схемы автоматического сопровождения цели по дальности и угловым координатам. Поэтому летчик после обнаружения цели и сближения с ней до расстояния, соответствующего дальности действия схемы автосопровождения, переводит РЛС в режим автосопровождения. Это значительно облегчает работу летчика и повышает точность определения координат цели.

Индикатор РЛС перехвата и прицеливания является трехмерным, т. е. на нем возможно измерение трех координат (дальности, азимута и угла места). Угловые координаты отсчитываются в горизонтальной и вертикальной плоскостях относительно продольной оси самолета. Примерный вид такого индикатора показан на рис. 24. Положение сигнала от цели в центре экрана указывает

на то, что перехватчик движется точно на цель. Расположение сигнала слева или справа от центра показывает, что цель находится соответственно левее или правее курса перехватчика. Аналогично, если сигнал выше или ниже центра экрана, высота полета истребителя ниже или выше полета цели. Таким образом, чтобы вывести истребитель на цель, летчик должен удерживать его на таком курсе, при котором отметка цели находится в центре экрана индикатора. Для определения расстояния до цели используется метод изменения горизонтального размера сигнала на экране. При большом удалении от цели отметка короткая, а по мере сближения с целью она расширяется по горизонтали. На экране индикатора нанесены метки, одна из которых соответствует размеру отметки от цели той дальности, на которой летчик должен открыть огонь (пустить ракету).

В тех случаях, когда истребитель вооружен управляемыми ракетами класса «воздух—воздух», РЛС перехвата измеряет координаты не только цели, но и выпущенной ракеты.

Кроме радиолокационных средств нападения, современный военный самолет может иметь еще и радиолокационные средства обороны. К ним относятся, например, радиолокационные приемники «защиты хвоста». Работа такого приемника основана на приеме сигналов РЛС, установленной на приближающемся самолете противника.

Управляя самолетом, летчик должен не только удерживать заданный курс, но и все время следить за высотой. В некоторых случаях, например при полете в горах, это особенно важно для безопасности полета. Наибольшую точность таких измерений обеспечивают высотомеры, принцип действия которых основан на измерении времени, в течение которого радиосигнал проходит расстояние от самолета до земли и обратно.

Современные истребители-перехватчики могут вести бой в широком диапазоне высот полета от самых малых до больших. Для действий на малых высотах, а также для обеспечения безопасности при посадке истребителя оборудуются радиолокационными высотомерами малых высот.

Как известно, барометрические высотомеры показывают абсолютную или относительную высоту полета са-

молета, т. е. высоту относительно уровня моря или аэродрома, с которого вылетел самолет, а не относительно того участка суши, над которым летит самолет в данный момент. Поэтому летчик, взлетев с одного аэродрома, для посадки на другой аэродром должен знать относительную разность высот их расположения. В противном случае высота полета при заходе на посадку мо-

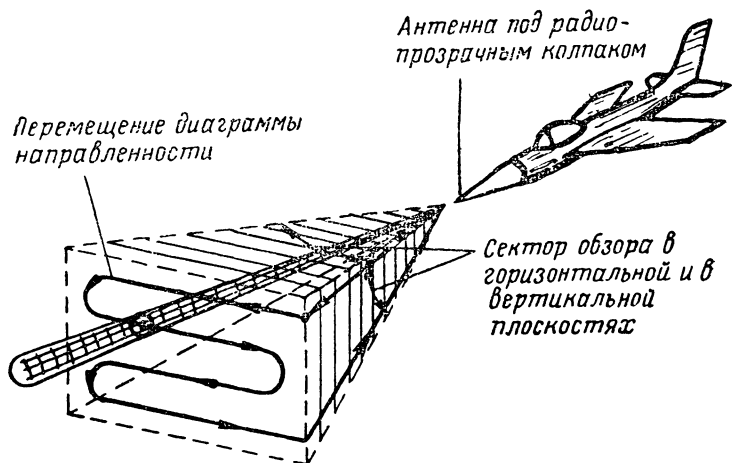


Рис. 23. Обзор пространства РЛС перехвата и прицеливания при поиске цели

жет быть определена с ошибкой. Кроме того, точность работы барометрического высотомера зависит от погоды. Поэтому в его показания при изменении метеорологических условий должны вноситься поправки, что создает трудности при эксплуатации.

Радиолокационные высотомеры свободны от указанных недостатков. По этим приборам летчик может в любой момент узнать высоту полета, что особенно важно при снижении и заходе на посадку.

Радиолокационный высотомер малых высот—это станция с непрерывным излучением энергии. В нем для измерения распространения радиоволн в прямом и обратном направлениях, а следовательно, для измерения высоты полета использован метод изменения частоты излучаемого сигнала. Он заключается в следующем. Если частоты передатчика периодически изменять с оп-

ределенной скоростью, то в приемник будут поступать два сигнала различной частоты: сигнал, приходящий непосредственно от передатчика, и сигнал, отраженный от преграды, находящейся на пути распространения радиоволн. Частоты этих сигналов будут различными, потому что за время распространения волн до отражающей преграды (в нашем случае до поверхности земли

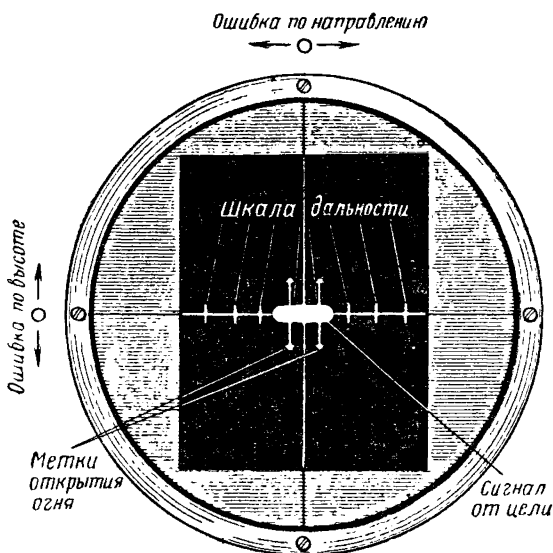


Рис. 24. Примерный вид индикатора РЛС перехвата и прицеливания

или моря) и обратно частота передатчика изменится, и к моменту прихода к приемнику отраженного сигнала передатчик будет работать на другой частоте. Различие в частотах будет тем значительнее, чем больше времени затрачивается на распространение сигнала до преграды и обратно к самолету, т. е. тем большим, чем выше летит самолет. Поэтому, измеряя разность частот, можно определить расстояние до отражающего объекта, т. е. высоту полета.

В радиолокационных высотомерах разность двух частот измеряется автоматически, и высота полета истребителя отсчитывается летчиком непосредственно по прибору, шкала которого проградуирована в метрах.

Для высотомеров малых высот метод измерения расстояния при непрерывном излучении энергии имеет ряд преимуществ перед импульсным методом. Он позволяет сократить минимальную дальность действия станции и добиться высоких точностей измерения высоты полета при сравнительно несложной схеме приборов. Высокая точность подобного высотомера дает возможность использовать его при слепой и автоматизированной посадке самолетов.

Для измерения больших высот описанный выше радиолокационный высотомер не применяется. Мощность его передатчика пришлось бы значительно увеличить, а так как излучение ведется непрерывно, он получился бы слишком громоздким и потребовал больших расходов электроэнергии. Поэтому для измерения больших высот используется импульсный высотомер с электроннолучевой трубкой, который работает так же, как локатор. Обеспечивая несколько меньшую точность, он может зато измерять большие высоты.

Количество и тип радиолокационных приборов, устанавливаемых на самолете, определяется в основном теми задачами, для решения которых предназначен данный тип самолета. Так, в отличие от истребителя-перехватчика, основной радиолокационной станцией которого является станция перехвата и прицеливания, основным радиолокационным оборудованием самолета-бомбардировщика является радиолокатор с панорамным обзором (рис. 25).

В бомбардировочной авиации большое значение имеет решение таких задач, как точный вывод самолетов-бомбардировщиков в район цели, быстрое отыскание ее и выполнение прицельного бомбометания по ней при отсутствии оптической видимости и с больших высот. Успешное выполнение бомбардировщиком поставленных задач в сложных метеорологических условиях и ночью обеспечивает радиолокатор с панорамным обзором (иногда его еще называют радиолокатором кругового обзора).

В панорамном радиолокаторе используется явление неодинакового отражения радиоволн от местных предметов и объектов, расположенных на земле. Принцип действия радиолокатора заключается в следующем.

Передающее устройство вырабатывает импульсы

электромагнитной энергии, которые подаются в антенну, представляющую собой активный излучатель, расположенный в фокусе отражателя, имеющего специальную форму. Благодаря такой конструкции антенны (рис. 25,а) ее диаграмма направленности широкая в верти-

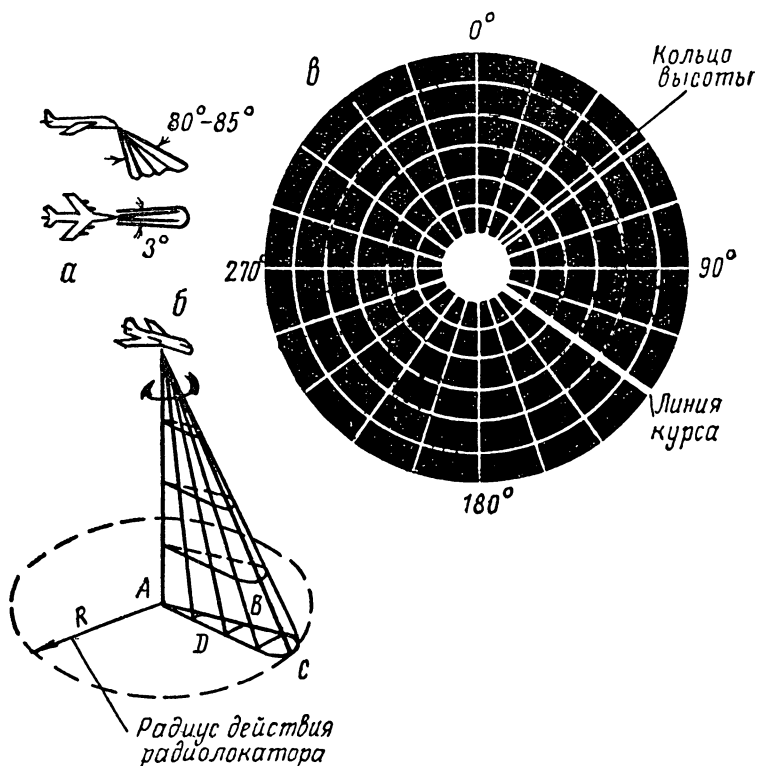


Рис. 25. К пояснению принципа действия панорамных РЛС: а — диаграмма направленности антенны в вертикальной и горизонтальной плоскостях; б — обзор участка поверхности земли; в — вид индикатора

кальной плоскости ($80-85^{\circ}$) и узкая — в горизонтальной (около 3°). Такие характеристики имеет одна из зарубежных панорамных РЛС.

Антенна станции непрерывно вращается вокруг вертикальной оси, последовательно облучая импульсами электромагнитной энергии земную поверхность, находя-

щуюся под самолетом (рис. 25,б). Импульсы электромагнитной энергии, попавшие на землю в пределах сектора АВСД, отражаются от предметов, находящихся в этом секторе, и поступают на вход приемного устройства станции.

За один оборот передатчик при помощи антенны последовательно облучает всю поверхность под самолетом в радиусе действия станции и каждый из участков поверхности дает свой отраженный сигнал. Принятые приемником отраженные импульсы после усиления и преобразования подаются на индикатор кругового обзора, где на соответствующих радиусах развертки фиксируются в виде световых отметок (световых дужек) различной интенсивности.

Если линейные размеры того или иного объекта окажутся больше, чем ширина облучаемого сектора АВСД, то облучение такого объекта происходит как бы по частям. В результате каждая часть объекта дает свой отраженный сигнал, фиксируемый на соответствующих соседних радиусах развертки. Вследствие того, что в панорамных радиолокаторах используются трубки с послесвечением, а индикация от крупных объектов получается на нескольких соседних радиусах развертки, отдельные световые сигналы (дужки) сливаются в общее световое пятно, воспроизводящее в какой-то степени конфигурацию объекта, отражающего радиоволны.

Первые, ближайшие к центру экрана отметки соответствуют сигналам, отраженным от участков местности (или объектов), расположенных под самолетом, и образуют так называемое кольцо высоты. Все другие объекты, попавшие в зону облучения радиолокатора, воспроизводятся на индикаторе на расстоянии от центра экрана, пропорциональном их удалению от самолета.

Сектор расположения отметки на экране соответствует направлению на объект, т. е. курсовому углу цели. Для облегчения работы оператора по определению координат объектов на экране воспроизводятся электрический масштаб расстояний в километрах в виде световых концентрических окружностей и градусная сетка, по которым и осуществляется отсчет координат цели (рис. 25,в).

Яркость полученного изображения на экране индика-

тора зависит от отражающих свойств объектов, облучаемых радиолокационной станцией. От гладкой водной поверхности (в силу зеркального отражения) отраженный сигнал на вход приемника почти не поступает. На экране индикатора водные поверхности воспроизводятся в виде темного пятна (озеро) или темной полосы (река) с четко очерченными границами — берегами.

Металлические сооружения хорошо отражают радиоволны. Хуже отражают радиоволны земля, луг, песок. В результате такие объекты, как крупные заводы, фабрики, железнодорожные мосты, скопление боевой техники, выделяются на экране индикатора на фоне менее интенсивных отражений от земной поверхности.

Как свидетельствует иностранная печать, прицельное бомбометание при помощи радиолокационной станции по цели, зафиксированной на экране индикатора, осуществляется путем использования специального бортового вычислительного устройства, в которое заранее вводятся исходные данные бомбометания: скорость и высота полета самолета, скорость и направление ветра, а также баллистические данные бомб. В результате на экране индикатора появляется определенного диаметра световая окружность, которую принято называть меткой бомбометания. Как только изображение атакуемого объекта совмещается с этой меткой, срабатывает механизм сброса бомб и страшный груз обрушивается на позиции противника.

В печати не раз сообщалось о беспилотных самолетах-разведчиках с радиолокаторами на борту, которые использовались, например, армией США во Вьетнаме. Наземная радиолокационная станция постоянно держит их в поле зрения и управляет их движением. На борту беспилотного самолета устанавливается радиолокатор с панорамным обзором. Но принятые отраженные сигналы не попадают на экран индикатора, да и самого индикатора нет, ведь смотреть-то на него некому. Сигналы с помощью передатчика передаются в расположение своих войск и только тут попадают на экран индикатора. Оператор, сидя глубоко под землей в штабном убежище, видит радиолокационную карту местности, над которой пролетает самолет-разведчик. Так, радиолокация помогает получить самые свежие разведданные о противнике.

Радиолокация в Военно-Морском Флоте

Конструкции и типы военных кораблей изменялись с усовершенствованием и появлением новых видов оружия. Одновременно менялись тактика ведения боевых действий и дистанция морского боя.

Из рис. 26 видно, как увеличивались дистанции морского боя с развитием артиллерии и обеспечивающих ее средств наблюдения. В связи с широким применением на военных кораблях ракетного оружия, а также использованием в морских операциях авиации дистанция морского боя и скоротечность его повышаются в очень большой степени. Современный морской бой — это бой с невидимым противником, если под понятием видимости подразумевается только возможность зрительного наблюдения.

Успех морского боя при одинаковых силах обеих сторон в большой степени зависит от своевременности обнаружения противника и быстроты применения против него оружия. Обнаружение и опознавание противника, определение его координат, выработка исходных данных для стрельбы — таков неполный перечень функций, выполняемых разнообразными радиоэлектронными средствами, основными из которых являются радиолокационные. Не удивительно поэтому, что вооружению военных кораблей радиоэлектронной аппаратурой уделяется большое внимание.

Современный корабль в зависимости от его класса имеет на борту от одной-двух до 35 радиолокационных станций (по зарубежным данным): линкоры или авианосцы — 30—35, крейсера — до 20, эскадренные миноносцы — до 10, подводные лодки — до 5, и даже портальные буксиры имеют хотя бы одну радиолокационную станцию. Чем же занято это многочисленное семейство радиолокаторов?

Первая станция — наша старая знакомая — радиолокационная станция кругового обзора. Она служит для наблюдения за окружающей обстановкой, предупреждая моряков о появлении и своих кораблей, и кораблей противника. Вращающаяся антенна этой станции хорошо видна на любом корабле. Ее стремятся расположить как можно выше, чтобы палубные надстройки и мачты не мешали обзору пространства.

Так же, как и в авиации, действует здесь и радиолокационная система обнаружения кораблей, которая не даст прогвнику подойти незамеченным. Часто на кораблях устанавливают специальные станции для наблюдения за воздушным пространством. Они, как надежные часовые, охраняют корабли от воздушного налета. Спе-

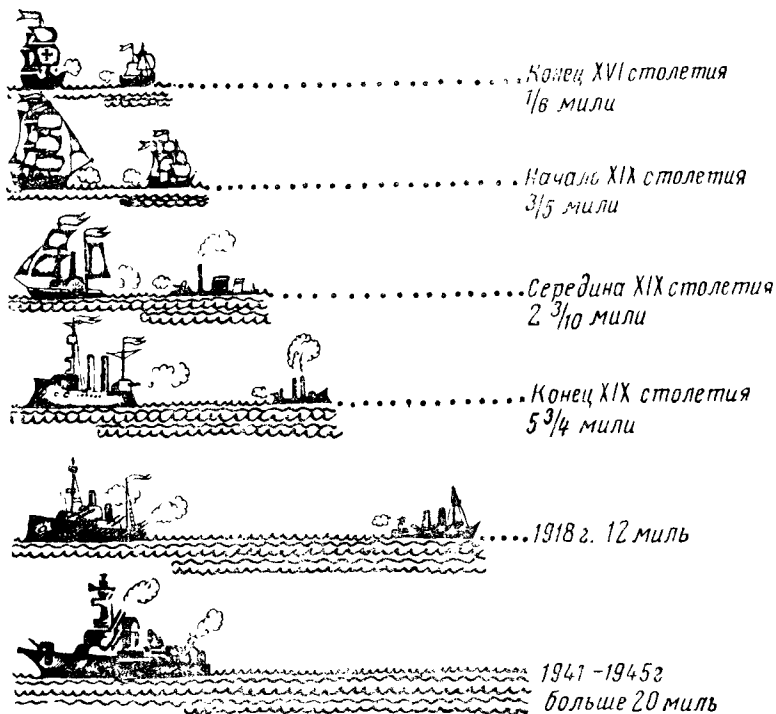


Рис. 26. Изменение дистанции морского боя

циальные станции корректируют стрельбу корабельных орудий главного калибра, наводят зенитные орудия на самолеты врага и управляют стрельбой торпедами.

Даже в своем родном порту радиолокация надежно охраняет корабль, позволяя ему в любую погоду избегать столкновений с маневрирующими судами. Созданные в последнее время судовые радиолокационные станции с помощью простых вычислительных устройств за-

ранее предупреждают экипаж о возможности столкновения судна с находящимися в опасной близости кораблями, чтобы капитан мог вовремя изменить курс. Вот так и набираются десятки станций, которые необходимо установить на каждом современном корабле. Следует добавить еще радиолокаторы, установленные на борту самолетов военно-морских сил, радиолокаторы на борту вертолетов, используемых для поиска и уничтожения подводных лодок, и так далее.

Принципы радиолокации и устройства радиолокационных станций, о которых говорилось в предыдущих разделах, являются общими и в равной степени относятся к наземным и корабельным станциям. Остановимся на специфических особенностях, присущих радиолокационным станциям, устанавливаемым на кораблях.

При установке станции на корабле исключается возможность выбирать наиболее выгодную площадку, как это делается при развертывании наземных станций. При необходимости увеличить дальность действия нет возможности поднять на большую высоту всю станцию. Приходится выносить на мачту только антенну, в результате чего удлиняются волноводы. Необходимо считаться с экранирующим действием надстроек, мачт корабля. На военных кораблях приходится близко друг от друга располагать большое число радиолокационных станций, радиотехнических средств связи. Важно при этом рационально расположить антенны, согласовать режимы работы аппаратуры с целью уменьшения взаимных помех.

Для обеспечения наилучшего обзора по горизонту антенну любой корабельной обзорной радиолокационной станции необходимо располагать как можно выше, чтобы не мешали верхние надстройки, мачты, трубы и т. п. В то же время большое удаление антенны от приемно-передающего устройства приводит к удлинению волновода. Как следствие, потери энергии в волноводном тракте значительно снижают дальность действия станции. Например, в хорошо выполненном волноводе, предназначенном для передачи электромагнитной энергии в 10-см диапазоне волн, длиной 10 м при передаче энергии в одном направлении потери мощности составляют около 25%, а при длине 30 м — 50%. Если еще учесть, что во время работы

станции потери происходят при передаче энергии в двух направлениях: от передатчика к антенне и от антенны к приемнику, то станет очевидным насколько важно сокращение длины волновода.

Подъем антенны на большую высоту приводит также и к увеличению мертвой зоны, т. е. минимальной дальности от станции, на которой объекты могут обнаруживаться. Это явление вызвано тем, что угол раствора радиолуча в вертикальной плоскости ограничен и объекты, близко расположенные к кораблю, не будут им захватываться (радиолуч пройдет над ними). Чем выше расположена антенна, тем на больших расстояниях этот недостаток будет проявляться.

Все приведенные соображения должны учитываться при выборе места расположения антенны. Необходимо в каждом случае выяснить, что важнее — повышение максимальной дальности действия станции или уменьшение радиуса ее мертвой зоны. Повышение максимальной дальности действия особенно важно для обзорных станций обнаружения, устанавливаемых на военных кораблях, а также для навигационных обзорных станций, устанавливаемых на больших лайнерах. На этих судах навигационные радиолокационные станции используются главным образом для обнаружения других судов, айсбергов и т. д. Поэтому их антенны устанавливаются на возможно большей высоте.

На рис. 27 показана мачта авианосца с антеннами, расположенными на ней несколькими ярусами. Наиболее высоко установлена антенна радионавигационной станции 1, помещенная в защитный колпак из радиопрозрачного материала. Немного ниже находится параболическая антенна 2 обзорной радиолокационной станции обнаружения надводных целей. Она формирует узкий радиолуч в горизонтальной плоскости и широкий в вертикальной.

Еще ниже на мачте расположена антенна 3 обзорной станции обнаружения воздушных целей, предназначенной для определения их дальности и азимута. Антенна 4 станции для определения высоты воздушных целей, используемой во взаимодействии со станцией обнаружения, установлена еще на ярус ниже. Формируемый ею луч, как видно из оценки размеров отражателя по вертикали и горизонтали, имеет ма-

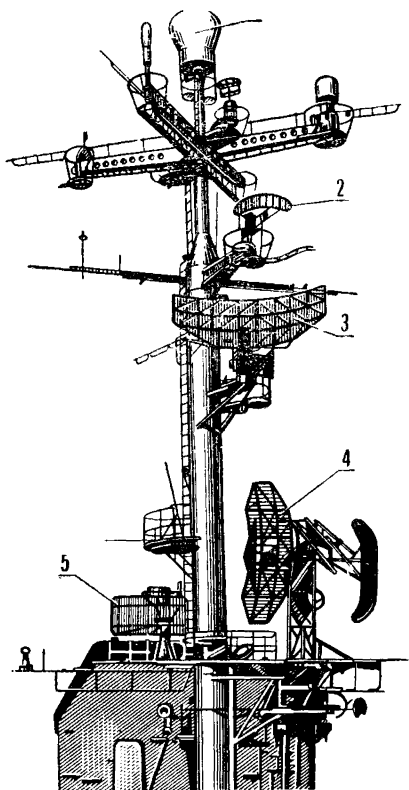


Рис. 27. Расположение антенн РЛС на мачте авианосца: 1 — антенна радионавигационной станции; 2 — антенна обзорной РЛС надводных целей; 3 — антенна обзорной РЛС воздушных целей; 4 — антенна радиовысотомера; 5 — антенна РЛС обнаружения воздушных целей

лый угол раствора в вертикальной плоскости и относительно большой — в горизонтальной плоскости.

На этом же рисунке видна одна антенна 5 второй радиолокационной станции, которая предназначена для обнаружения воздушных целей, а также антенны систем опознавания и радиосвязи.

Антенные устройства устанавливаются на специальных площадках, укрепленных на мачтах и надстройках корабля. Вблизи вращающихся антенн не допускается никаких снастей, которые могут обвиться вокруг них. Другие блоки станции (передатчик, приемник, индикаторы и др.) располагаются, как правило, в закрытых помещениях.

В отличие от наземных, корабельные радиолокационные станции имеют ряд особенностей, вытекающих из условий их работы. Так, например, ко-

рабль, находящийся на взволнованной поверхности моря, подвергается качке. В процессе качки положение корабля в пространстве непрерывно изменяется. Его перемещения, вызванные влиянием качки, можно расчленить, рассматривая отдельно рыскание, т. е. отклонение от заданного курса; килевую качку, характеризующую уг-

лом между продольной осью корабля и горизонтальной плоскостью; бортовую качку, характеризующуюся углом между поперечной осью корабля и горизонтальной плоскостью; вертикальную качку, характеризующуюся вертикальными перемещениями центра тяжести корабля. На эффективность радиолокационного наблюдения в наибольшей степени влияют бортовая и килевая качки.

Попытаемся выяснить, в чем заключается влияние качки корабля, на примере использования двухкоординатной обзорной радиолокационной станции надводных целей. При качке корабля плоскость его палубы получает наклон относительно плоскости горизонта (горизонтальной плоскости). Величина наклона в каждый момент определяется текущими значениями углов бортовой и килевой качки. Если антенна станции не стабилизирована, т. е. если она жестко закреплена относительно плоскости палубы, то при ее наклоне будет изменяться и пространственное положение радиолуча, ведущего обзор.

Радиолуч имеет узкую направленность в горизонтальной плоскости и не слишком широкую — в вертикальной. Интенсивность излучения и приема в разных направлениях в пределах углов раствора радиолуча в обеих этих плоскостях, как известно, неодинакова. Естественно поэтому, что наклон палубы корабля, влекущий за собой изменение положения радиолуча, будет сказываться на интенсивности принимаемых от отражающего объекта сигналов и может даже привести к их исчезновению, если объект не будет захвачен радиолучом.

Устранение этого вредного явления может быть достигнуто при полной стабилизации платформы, на которой установлена антенна станции. Цель процесса стабилизации — удержание этой платформы в горизонтальном положении при изменении наклона палубы в условиях качки корабля.

При полной стабилизации антенного устройства антенна и формируемый ею радиолуч сохраняют свое пространственное положение относительно плоскости горизонта, несмотря на наклон палубы корабля, вызываемый качкой. Нужный эффект достигается при условии, что оси компенсации килевой и бортовой качки поворачиваются в точном соответствии с возникающими те-

кущими значениями углов качки корабля. Эти углы определяются имеющимися на кораблях специальными навигационными приборами, которые вырабатывают соответствующие управляющие напряжения для воздействия на следящие приводы. Исполнительные двигатели этих приводов осуществляют повороты осей стабилизации на нужные углы.

Радиолокационное изображение на экране индикатора кругового обзора представляет собой совокупность яркостных отметок от каждого отдельного объекта и от деталей местности. Все отметки располагаются в одной плоскости. Поэтому всякое представление об объемных размерах объектов теряется. Яркость отметок на экране различна, но человеческий глаз различает среди них только две-три градации яркости. Поэтому яркость отметок дает малую информацию при чтении радиолокационного изображения.

Радиолокационное изображение местности может значительно отличаться от действительного по ряду причин. Во-первых, на экране не воспроизводятся отметки объектов или деталей местности, от которых приходят слабые сигналы, из-за их плохих отражательных свойств. Не воспроизводятся отметки затененных (закрытых) объектов, а также объектов или деталей местности, дающих зеркальное отражение, направленное в сторону, противоположную радиолокационной станции. Во-вторых, отметки каждого малого объекта или малого элемента отражающей поверхности имеют размеры, зависящие от разрешающих способностей по дальности и направлению.

До появления ракетного оружия корабельная артиллерия и торпеды были основными видами оружия, используемого на военных кораблях против надводных и воздушных целей. До развития радиолокации управление артиллерийской и торпедной стрельбой обеспечивалось оптическими приборами. С их помощью определялись дальность и курсовые углы обстреливаемых целей.

Текущие координаты целей вводились в специальные счетно-решающие приборы, в которых рассчитывались параметры движения (курс, скорость) и вырабатывались данные для наводки орудий и торпедных аппаратов. Появившиеся во время второй мировой войны ра-

диолокационные средства приняли на себя функции оптических приборов, что способствовало увеличению дистанции морского боя.

Станции управления артиллерийской и торпедной стрельбой по принципу своего действия относятся к станциям сопровождения выбранной цели. Каждому комплекту орудий или автоматов, совместно используемых при стрельбе придается своя радиолокационная станция, антенна которой наводится на цель, обнаруженную обзорной радиолокационной станцией и выбранную для обстрела. Как правило, на крупных надводных кораблях с преимущественно артиллерийским вооружением имеется несколько радиолокационных станций: управления стрельбой орудий главного калибра (в носовой и кормовой частях корабля), управления зенитной стрельбой, стрельбой универсального калибра (используемых и против надводных, и против воздушных целей) и торпедной стрельбой. Функции этих станций примерно одинаковые. Они заключаются в сопровождении обстреливаемых целей и выдаче данных об их координатах, необходимых для ведения огня. Различия между станциями заключаются в числе определяемых координат (две или три), тактико-технических данных, способах индикации и степени автоматизации.

Последние годы характеризуются широким внедрением на военных кораблях ракетного оружия, что существенно повысило их огневую мощь и эффективность стрельбы. Дальность морского боя и ведения огня по береговым объектам неизмеримо возросла и измеряется многими десятками и даже сотнями километров. Полностью исключается управление стрельбой с помощью оптических приборов и резко повышается роль радиолокационных средств, используемых для обеспечения стрельбы. Возросло число радиолокационных станций, устанавливаемых на кораблях.

В качестве примера, иллюстрирующего состав радиолокационного вооружения и его размещение на кораблях различных классов, рассмотрим радиолокационное вооружение эскадренного миноносца и крейсера.

На рис. 28 показан общий вид эскадренного миноносца, имеющего в основном артиллерийское вооружение. На топе фок-мачты видна антенна с параболическим отражателем радиолокационной станции обнаруже-

ния надводных целей (1). Несколько ниже расположена антенна станции обнаружения воздушных целей (2). На надстройках видны антенны радиолокационных станций, используемых для управления огнем (3 и 4).

Более мощным вооружением оснащен крейсер ЗУРО, имеющий на борту и ствольную артиллерию, и зенитные управляемые реактивные снаряды (рис. 29). На фок-мачте его расположены антенны радиолокационной станции обнаружения надводных (1) и воздушных (2) целей, а также радиолокационной станции определения их высоты (3). На надстройке кормовой части находится антенна еще одной станции обнаружения воздушных целей (4), а на топе грот-мачты — антенна станции определения их высоты (5). Видны также антенны радиолокационного дальномера (6) и станции управления огнем артиллерии (7, 8, 9, 10), и радиолокационной станции обеспечения стрельбы зенитных управляемых реактивных снарядов (11, 12). На рис. 29 достаточно хорошо видны также артиллерия главного калибра в носовой части корабля, орудия универсального калибра, расположенные по бортам, и стартовые установки для запуска реактивных снарядов в кормовой части корабля.

Помимо радиолокационных станций, на военных кораблях сосредоточено большое количество других видов радиоэлектронного оборудования: средства обнаружения работающих радиолокационных станций, гидроакустические средства, средства связи и т. д. Наиболее эффективное использование всего радиоэлектронного оборудования возможно только при условии быстрой обработки, передачи информации и использования ее для принятия решения. Последнее достигается путем объединения радиоэлектронной аппаратуры в систему, включающую в себя также необходимые счетно-решающие устройства.

В заключение приведем несколько примеров успешного применения корабельных радиолокаторов во время второй мировой войны.

В 1941 году в Средиземном море произошел бой между итальянской эскадрой и кораблями английского флота. Ночью англичане при помощи радиолокаторов обнаружили итальянскую эскадру. На итальянских кораблях не было радиолокаторов, поэтому итальянцы не заметили приближения к ним под покровом ночи про-

тивника и не сумели своевременно изготовиться к бою. Застигнутые врасплох, они получили сокрушительный удар, в результате которого потеряли три крейсера и два миноносца.

Советские военные корабли с самого начала военных действий широко применяли против подводных лодок гидроакустические приборы-шумопеленгаторы, поз-

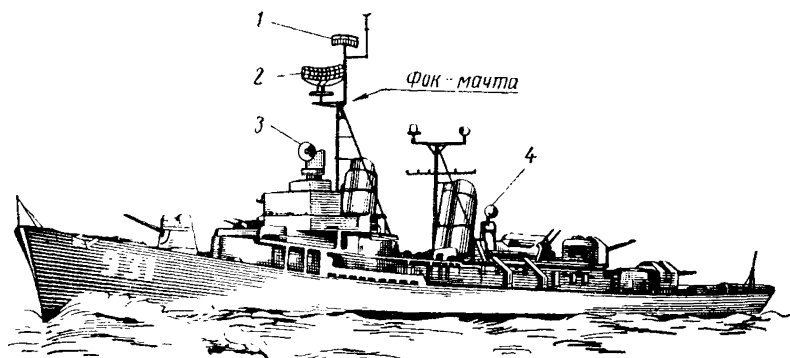


Рис. 28. Расположение антенн РДС на эскадренном миноносце: 1 — антенна РДС обнаружения надводных целей; 2 — антенна РДС обнаружения воздушных целей; 3, 4 — антенны РДС управления огнем

воляющие обнаруживать лодку, когда она находится под водой. Впоследствии на кораблях стали устанавливать радиолокационные станции, что дало возможность следить за лодками на поверхности моря. Хотя наглость подводных пиратов не знала предела, наш флот успешно отражал их атаки и наносил одно поражение за другим.

В начале декабря 1944 г. на подходах к Кольскому заливу группа наших военных кораблей обнаружила целую группу подводных лодок фашистов. Советские моряки немедленно установили в этом районе моря бдительное патрулирование.

В ночь на 9 декабря на охоту за подводными пиратами вышли два эскадренных миноносца: «Живучий» и «Разумный». При помощи радиолокаторов, несмотря на мрак, они могли видеть далеко вокруг себя. Вдруг ра-

диометрист «Живучего» заметил на радиолокационном экране небольшое светлое пятно. Через несколько мгновений он доложил командиру эсминца капитану 3 ранга Н. Д. Рябченко, что впереди по курсу обнаружена лодка в надводном положении. «Живучий» немедленно устремился в погоню.

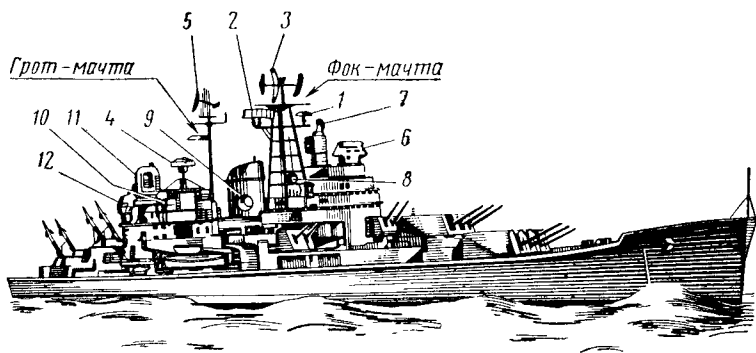


Рис. 29. Расположение антенн РЛС на крейсере ЗУРО: 1 — антенна РЛС обнаружения надводных целей; 2, 4 — антенны РЛС обнаружения воздушных целей; 3, 5 — антенны радиовысотомеров; 6 — антенна радиодальномера; 7, 8, 9, 10 — антенны РЛС управления огнем артиллерии; 11, 12 — антенны РЛС обеспечения стрельбы ЗУР

Лодка заметила приближение советского эсминца и, не погружаясь, стала быстро уходить. Преследование продолжалось долго. Обстрел подводной лодки из носовой пушки не дал нужного результата из-за плохой видимости. А когда эсминец приблизился к лодке на расстояние двух кабельтовых (370 м), она выпустила по нему две торпеды. Однако благодаря быстрому маневру «Живучего» торпеды прошли мимо. Затем эсминец развернулся и на полном ходу протаранил лодку с правого борта. Не успевший погрузиться по своей воле, смертельно раненный хищник быстро пошел ко дну по воле наших моряков.

Во вторую мировую войну многие жорабли обеих воюющих сторон были оборудованы радиолокационными

ми станциями. Чтобы обезопасить транспортные перевозки через моря и океаны, англичане и американцы сводили свои суда в большие конвои и отправляли в путь под защитой боевого охранения.

Радиолокаторы, установленные на кораблях союзников, помогали следить за всеми судами каравана и давали возможность командиру делать те или иные указания по дальнейшему продвижению. Но самое главное состояло в том, что радиолокаторы вовремя оповещали о приближении фашистских самолетов, кораблей и подводных лодок, которые стремились атаковать конвоируемые суда, помогали уйти от противника и даже нанести ему контрудар. Так, потопление «Шарнгорста» — крупного линкора гитлеровской Германии — в значительной мере обусловила радиолокация, примененная англичанами.

Это было в суровую зиму 1943 г. В последних числах декабря в северные порты Советского Союза шел с запада большой караван судов. Его охраняло более десятка военных кораблей. Когда воздушная разведка гитлеровцев обнаружила этот конвой, она направила наперерез линкор «Шарнгорст», который находился в это время у берегов Северной Норвегии.

Скрываясь во мгле полярной ночи, германский линкор надеялся подойти к конвою незаметно, но был обнаружен с расстояния 17,5 миль (около 32 км) радиолокационной станцией крейсера «Белфаст». С этого момента началось преследование «Шарнгорста» кораблями охранения. Часто английские корабли теряли его из «поля зрения» своих радиолокаторов. Затем радиолокационный контакт вновь восстанавливался и погоня продолжалась.

Бой длился около 11 часов в условиях очень плохой видимости. Превосходство было на стороне англичан, однако «Шарнгорст» обладал большой скоростью и мог бы скрыться, если бы британцы не применяли радиолокацию.

Когда английский линкор «Герцог Йоркский» неожиданно для «Шарнгорста» сблизился с ним и открыл огонь, гитлеровцы хотели уйти в южном направлении, но было уже поздно. После артиллерийской дуэли англичане атаковали «Шарнгорст» торпедами, и он вскоре затонул.

Радиолокаторы сухопутных войск

Начало применения радиолокационной техники в сухопутных войсках, главным образом в интересах наземной артиллерии, относится к концу второй мировой войны. В этой области использования радиолокации имеются два основных направления: разведка позиций стреляющих минометов противника и обнаружение движущихся наземных целей.

Однако если в авиации радиолокационные станции летают на самолетах, а на флоте плавают на кораблях, то в современных сухопутных войсках, где уже давно нет пехоты в привычном для всех нас смысле слова, радиолокационные станции перемещаются на колесах и даже переносятся на руках. Поэтому в названии почти всех станций, используемых в иностранных сухопутных войсках, встречаются слова: портативная, переносная, передвижная, мобильная и так далее.

Все эти радиолокационные станции выполняют весьма важные функции, и любой наземный бой в наше время просто немыслим без радиолокации. Самая главная их задача — это, конечно, наблюдение за полем боя.

Известно, что в прошедшей войне в связи с возросшей ролью и эффективностью действий авиации сухопутные войска были вынуждены все основные перегруппировки производить под покровом ночи, при постановке дымовых завес или при наличии тумана. В этих условиях разведывать передвижение войск противника было чрезвычайно трудно, что в конце концов заставляло или совершенно бездействовать, или ограничивать свои действия до минимума.

Именно эти обстоятельства и вызвали необходимость впервые испытать возможности разведки наземных целей при помощи радиолокационных станций. Наиболее пригодными для решения указанной задачи оказались принятые к тому времени на вооружение ряда иностранных армий станции орудийной наводки зенитной артиллерии, работающие на волне около 10 см (рис. 30).

Уже первые опыты в этом направлении дали обнадеживающие результаты. Ночью станция орудийной наводки выдвигалась на заранее подготовленную позицию, расположенную обычно на удалении 2—3 км от перед-

него края. За счет поворота антенны станции луч радиоволн в определенном секторе направлялся параллельно земной поверхности. Если в указанном секторе оказывалась какая-либо движущаяся цель, то по отраженному от нее сигналу оператор обнаруживал эту цель и определял ее координаты. Нередко координаты цели, полученные таким образом при помощи станции, использовались для подавления обнаруженной цели артиллерийским огнем.

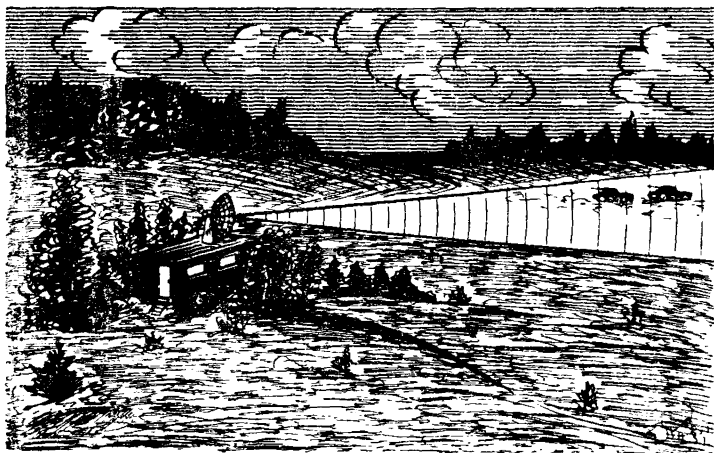


Рис. 30. Использование станций орудийной наводки для разведки наземных целей

Однако станции орудийной наводки, как подтвердил опыт, явились не совсем пригодными для решения задач наземной разведки. Проведенные в послевоенный период исследования показали целесообразность разработки специальных радиолокационных станций наземной разведки. И вскоре на вооружение многих армий мира начали поступать такого типа радиолокационные установки, имеющие свою специфику.

Дело в том, что когда луч радиолокатора направлен в небо, то он может встретить на своем пути лишь самолеты или ракеты. Когда же радиолуч скользит вдоль

поверхности земли, любые строения, лес, холмы и все окружающие предметы будут видны на экране. На их фоне совсем непросто заметить нужную цель. Причем местные предметы нередко дают отраженные сигналы, по интенсивности равные отраженному от цели сигналу или превосходящие его. В результате на индикаторе появляются весьма сильные помехи, которые иногда совершенно маскируют отметку цели. Поэтому, например, неподвижные цели обнаружить очень трудно, ибо они, как правило, не дают каких-либо отличных от других местных предметов отметок на индикаторе станции.

Очевидно, что для селекции наземных целей должны быть использованы такие явления, которые характерны для разведываемых целей и не свойственны для местных предметов. Таким явлением, в частности, является перемещение (движение) цели. Оказывается, что от движущихся объектов отметки на индикаторе можно выделить даже при наличии более интенсивных сигналов, полученных в результате отражения электромагнитной энергии от местных предметов. Вот тут-то и находят применение доплеровские радиолокаторы с непрерывным излучением (помните, мы о них говорили во второй главе). В приемники таких станций попадают лишь сигналы от движущихся объектов, а это как раз то, что нужно. Сигналы, отраженные от неподвижных местных предметов, не будут приняты и не помешают обнаружить движущиеся цели.

Радиолокационные станции, построенные на основе использования метода Доплера, имеют простую и довольно компактную аппаратуру. Однако и им свойственен один существенный недостаток — невозможность определения координаты дальности до цели. Последнее обстоятельство явилось причиной того, что вплоть до последнего времени селекция отраженных сигналов от движущихся целей производилась преимущественно при помощи импульсных радиолокаторов по характерным признакам отметок этих целей на экране индикатора. Таким признаком, в частности, являются колеблющиеся отметки от цели, находящейся в движении. Так, например, идущий автомобиль дает на индикаторе станции колеблющиеся отметки, причем колебания эти тем больше, чем больше скорость движения автомобиля и чем хуже качество полотна дороги.

Люди дают отраженные сигналы, колебания которых не имеют постоянного ритма и часто пропадают. Деревья, кустарники создают при слабом ветре ритмичные колебания отметок. Однако от сильного ветра ритмичность в колебаниях отметок на экране пропадает. Опытным путем установлено, что радиолокационные станции, работающие на волнах 10 см, позволяют вести разведку целей сквозь редкие деревья, кусты, маскиро-

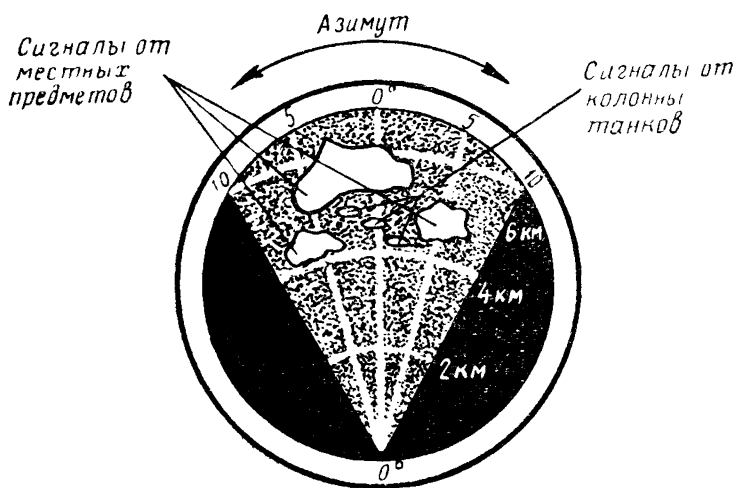


Рис. 31. Вид экрана индикатора РЛС наземной разведки

вочные сети и строения легкого типа. Но при этом дальность действия станции существенно снижается.

На экране индикатора (рис. 31) цели отмечаются в виде яркостных отметок. По положению отметок цели на экране относительно масштаба определяются дальность и азимут цели. Обычно станции подобного типа имеют два индикатора. Один из них служит для поиска цели и грубого определения ее координат. По-другому уточняют и отсчитывают координаты цели. Так как наземные цели перемещаются относительно медленно, то в станциях наземной разведки используется в основном не автоматическое, а ручное сопровождение цели.

Вместе с тем радиолокационные станции наземной разведки, представляющие собой в той или иной степени модернизации станций орудийной наводки, вследствие их сложности, громоздкости и веса не всегда могут быть пригодны для ведения разведки переднего края. Для решения указанной задачи необходимы малогабаритные, легкие и простые в эксплуатации радиолокационные станции, хотя и обладающие несколько меньшим радиусом действия и меньшей точностью определения координат.

В качестве примера рассмотрим одну из имеющихся на вооружении армии США переносную полевую радиолокационную станцию, использующую эффект Доплера. Работающий на ней оператор обнаруживает движение войсковой колонны за 1,5—2 км, машину — за 6 км. Усовершенствованный вариант этой станции имеет вес всего 4,5 килограмма и обслуживается одним оператором, да и тому не обязательно находиться около самого радиолокатора — хорошей мишени для противника. Оператор может находиться за сотни метров от станции, так как в ней предусмотрено дистанционное управление.

В радиолокаторах такого типа не делают индикаторов с большими экранами. Обнаружение цели производится оператором на слух, так как принятый отраженный сигнал преобразуется в звуковой, высота тона и громкость которого зависят от характера цели. Опытный специалист может, например, на слух определить, что он обнаружил: одного или нескольких идущих солдат, или, может быть, ползущего разведчика, машину на гусеничном ходу или колесный автомобиль. Некоторые станции могут обнаружить даже нейлоновый шпагат диаметром 3,2 мм на расстоянии до 300 м.

Созданы специальные **портативные станции**, которые заменяют часовых при охране важных объектов. Они обнаруживают человека за 45 м, машины — за 180 м и определяют скорость движения замеченных объектов.

РЛС обнаружения артиллерийских и минометных позиций противника, кроме разведки наземных целей, выполняют еще одну важную задачу — защищают свои войска от артиллерийского или минометного огня противника. Необходи-

мость применения таких станций вызвана трудностью разведки позиций минометных батарей оптическими и звуковыми средствами. Эта трудность усугубляется еще и тем, что выстрел из миномета сопровождается относительно слабым звуком, а крутая траектория полета мин позволяет размещать минометные батареи за обратными скатами холмов, в оврагах, на небольших лесных полянах.

Для радиолокационной разведки эти свойства минометов не служат препятствием. В основе этой разведки лежит обнаружение мины в полете, регистрация ее текущих координат и вычисление по отрезку траектории недостающего участка восходящей ветви и начальной точки траектории, т. е. места расположения стреляющего миномета (рис. 32). Сопровождая мину в полете, радиолокационная станция успевает сделать несколько засечек, прежде чем мина скроется из ее зоны обнаружения. По засечкам, полученным при помощи станции, строят траекторию полета мины на специальном планшете местности. Точка встречи траектории с поверхностью земли и есть местоположение огневой позиции миномета или орудия.

Для построения всей траектории полета мины достаточно иметь две-три точки этой траектории.

Данные о местоположении огневой позиции противника передаются на артиллерийские позиции, и по точке, где расположен миномет противника, мгновенно открывается подавляющий огонь. При этом та же самая станция, которая обнаружила врага, корректирует огонь своих орудий, прослеживая на этот раз траекторию полета своих снарядов и определяя место их падения. Так же действует эта система при ракетном и артиллерийском обстреле.

По сообщениям зарубежной печати, современные радиолокационные станции обнаружения минометных, артиллерийских, ракетных позиций способны достаточно эффективно определять только навесную траекторию. Такой траекторией обладают мины, ракеты и снаряды гаубиц, ведущих мортирную стрельбу. Настильную же траекторию, которой обладают снаряды пушки, при помощи существующих радиолокаторов засечь невозможно. Объясняется это, во-первых, большими скоростями снарядов и, во-вторых, мешающими действиями местных предметов.

По своей блок-схеме радиолокационные станции обнаружения минометных (артиллерийских) позиций во многом похожи на радиолокационные станции орудийной наводки. В состав блок-схемы этих станций входят: передающее и приемное устройства, антенно-фидерная

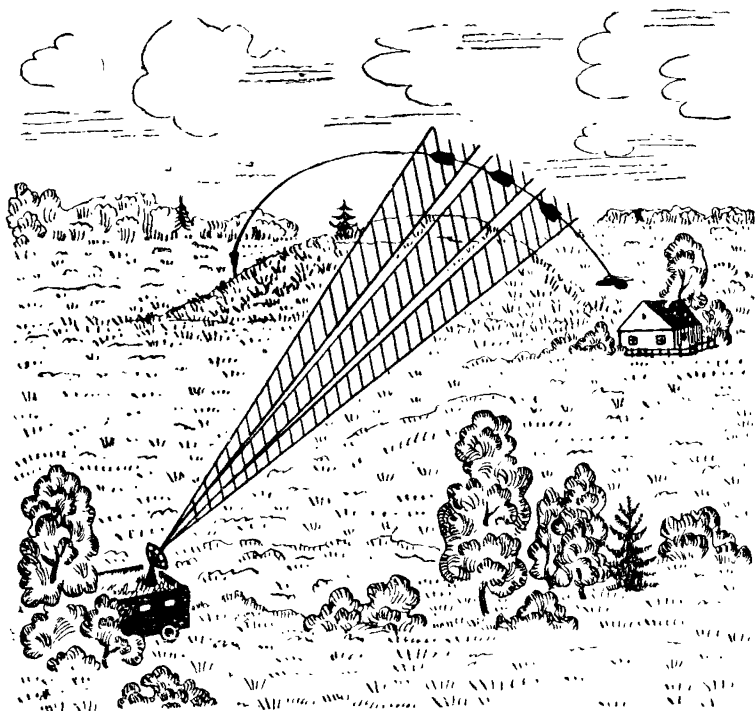


Рис. 32. Разведка огневых позиций минометов (орудий) противника с помощью РЛС

система, индикаторное и счетно-решающее устройства, а также источники питания.

Относительно небольшие размеры мин (снарядов) и незначительная поэтому интенсивность отраженных от них сигналов обусловили применение в этих станциях мощных передатчиков и чувствительных приемников.

Зенитная артиллерия сухопутных войск оснащена радиолокационными станциями орудийной наводки. Первые такие станции появились на вооружении зенитной артиллерии в начале второй мировой войны. Это увеличило эффективность зенитного огня. Дальнейшее совершенствование этих станций сделало стрельбу зенитной артиллерии еще эффективнее.

Радиолокационное наблюдение за вражескими самолетами начинается еще до того, как они окажутся в зоне действия станции орудийной наводки. Обзор воздушного пространства обороняемого района ведет станция обнаружения, имеющая большой радиус действия. На индикаторе этой станции появляются отметки самолетов противника; командир может оценить всю обстановку и составить план отражения налета. Обнаруженные цели распределяются между зенитными батареями района, и каждая станция орудийной наводки получает «свою» цель с указанием координат. Это — команда для станции начать наблюдение за противником.

Сначала такая станция включается в режим поиска. Ей не нужно, конечно, начинать все сначала: искать самолет противника по всему небу. Поиск цели ведется в указанном участке воздушного пространства. А когда цель поймана, для станции орудийной наводки наступает ответственный период работы. Она переключается на режим автоматического сопровождения. В этом режиме станция обладает большей точностью определения координат цели и более высокой разрешающей способностью. Для этого создается очень узкий радиолуч иглообразной формы.

Полученные данные о положении летящего самолета непрерывно передаются электрически на прибор управления артиллерийским зенитным огнем. Прибор представляет собой счетно-решающее устройство, которое автоматически решает баллистическую задачу — находит положение упрежденной точки, где должна произойти встреча снаряда с летящей целью, и в зависимости от координат этой точки вырабатывает данные для стрельбы: угол возвышения орудия, азимут и величину установки дистанционного взрывателя снаряда.

По этим данным орудия весьма точно наводятся в нужном направлении и все время «идут» за целью. Ус-

кользнуть она не может. Меткие снаряды настигают врага, даже если он не виден. Применение радиолокационной техники увеличило эффективность зенитного огня в несколько раз.

Сверхдальняя радиолокация (по материалам зарубежной печати)

Несмотря на широкое применение радиолокации в войсках противовоздушной обороны, авиации, Военно-Морском Флоте и сухопутных войсках, все же по насыщенности радиолокационными станциями пальму первенства следует отдать войскам, обслуживающим комплексы управляемых ракет. Почти все, что они делают, так или иначе связано с радиолокацией. Например, запуск баллистической ракеты по лучу радиолокатора (данные иностранной печати). Траекторию ее полета можно разделить на два основных участка. На первом, активном участке двигатель ракеты работает, и это дает возможность управлять ее полетом; на втором, пассивном, ракета движется по баллистической траектории, двигатель уже не работает, и ракета подобна брошенному камню, который летит по траектории, зависящей лишь от величины и направления скорости в момент броска и от массы. Управлять ракетой на этом участке уже невозможно.

Поэтому для точного попадания в цель необходимо, чтобы ракета в момент окончания работы двигателя (конец активного участка) имела бы строго определенную скорость и направление движения. Эту сложную задачу выполняют радиолокаторы, установленные вблизи стартовых позиций баллистических ракет. Они непрерывно определяют параметры траектории стартующей ракеты и при отклонении характеристик полета от расчетных посылают команду на включение тех или иных корректирующих двигателей ракеты. Мощность таких двигателей обычно невелика, но ее достаточно, чтобы исправить небольшие погрешности скорости и направления полета.

И только тогда, когда ракета достигает расчетной точки и получает расчетную скорость, выключаются

главный и вспомогательный двигатели и последняя ступень ракеты начинает движение по баллистической кривой. Радиолокационная станция может продолжать следить за ее движением, но управлять полетом уже невозможно, так как двигатели не работают.

Иначе обстоит дело при запуске небольших ракет, предназначенных для борьбы с самолетами. В этом случае цель, которую должна уничтожить ракета, не только движется с большой скоростью, но и маневрирует, чтобы избежать роковой встречи с ракетой. Траектории, по которым движутся ракеты, рассчитывают вычислительные машины, и они же с помощью радиолокационной станции подают команды на изменение курса или скорости полета. При этом радиолокационная станция работает до тех пор, пока на индикаторе отметки от цели и ракеты не сольются в одну, что говорит о встрече ракеты с целью и об ее уничтожении.

В иностранной печати отмечается, что, хотя для противоракетной обороны и выделяется большое число станций с самыми современными характеристиками, им не удастся решить задачу надежного уничтожения баллистических ракет противника, если они будут действовать разрозненно. Сведения, полученные одной станцией, должны быть мгновенно и безо всяких ошибок переданы на все другие станции и в центр управления противоракетной обороны. Поэтому в состав комплекса противоракетной обороны, кроме радиолокационных станций, входят вычислительные центры и автоматизированные, высоконадежные системы связи. Только они обеспечивают согласованное функционирование всего комплекса, отдельные станции которого могут быть расположены в сотнях и даже в тысячах километров друг от друга.

Первыми узнают об угрозе нападения операторы станций обнаружения. Они обнаруживают цель на экране индикатора, а вычислительная машина, работающая во взаимодействии со станцией, определяет текущие координаты цели, строит наиболее вероятную траекторию ее полета и принимает решение, представляет ли данная цель опасность или нет. В течение нескольких секунд машина ответит на вопрос, что мы видим на экране: спутник, метеорит или атакующую ракету.

В последнем случае по системам связи комплекса в центр противоракетной обороны и на станцию целеуказания передается сигнал об обнаружении цели. Станция целеуказания значительно точнее определяет координаты цели и передает информацию на станцию распознавания. Задача последней — дальнейшее уточнение характера летящей цели и выделение (распознавание) настоящей боевой головки среди множества ложных целей, которые выбрасывает атакующая ракета на последнем участке траектории.

Наиболее важным элементом противоракетного комплекса считают станции обнаружения. Чем раньше они обнаружат цель, тем больше времени останется для подготовки к отражению нападения и тем дальше от рубежа обороны антиракета встретится с целью. Чтобы раньше обнаружить цель, надо иметь как можно более мощную станцию.

В принципе решение этой задачи, по мнению зарубежных военных специалистов, возможно двумя путями.

Первый путь — создание радиолокационных дозоров. Так называют комплекс станций обнаружения, установленных на кораблях и самолетах. Морской радиолокационный дозор состоит из целой флотилии кораблей, плавающих в международных водах вдали от своих берегов. Места их крейсирования подобраны так, чтобы можно было держать под наблюдением все возможные направления пуска ракет предполагаемым противником. Ту же самую задачу может выполнить и авиационный дозор. По сравнению с морским он имеет то преимущество, что с увеличением высоты увеличивается и дальность действия радиолокационной станции, а значит, и обнаружить цель можно раньше. Используемые для этой цели самолеты летают довольно медленно (по сравнению, конечно, со сверхзвуковыми истребителями и ракетноносцами), но могут очень долго находиться в воздухе.

Второй путь — применение загоризонтных радиолокационных станций, иначе называемых станциями сверхдального радиолокационного обнаружения. В радиолокаторах используют ультракороткие волны, т. е. очень малой длины (несколько сантиметров или дециметров). Эти волны рас-

пространяются практически прямолинейно и не огибают поверхности земли. Именно поэтому дальность действия радиолокаторов ограничивается линией горизонта (из-за этого, кстати, и повышается дальность действия радиолокатора, установленного на самолете, так как линия горизонта при этом значительно удаляется).

На вопрос — можно ли с помощью радиоволн видеть за горизонтом? — радиоспециалисты отвечают сейчас утвердительно. Это впервые доказал своими опытами советский ученый Н. И. Кабанов. В 1946—1947 гг. он обнаружил и подробно исследовал интересное физическое явление, которое названо в его честь «эффектом Кабанова».

Много внимания уделяют ученые исследованию ионосферы — верхней части воздушной оболочки Земли, находящейся выше 50—70 км и влияющей на распространение радиоволн. Воздух этих высот насыщен свободными электрическими зарядами, что наделяет ионосферу свойствами преломлять и отражать короткие радиоволны. Когда волна такой длины, посланная под определенным углом с земли, достигает наиболее насыщенной зарядами области, расположенной на высоте около 300 км, она отражается от нее и снова возвращается к земле. Волна делает при этом гигантский «скачок» в две-три, а то и в четыре тысячи километров. Вернувшись, она отражается уже от земной поверхности, опять уходит вверх, снова отражается от ионосферы, а потом от земли, убегая все дальше и дальше в этом высоком коридоре между ионосферой и землей. Так, на коротких волнах можно передавать сообщения в любой пункт планеты. Ультракороткие волны не отражаются от ионосферы, а проходят ее насквозь и удаляются в мировое пространство.

Н. И. Кабанов установил, что короткие волны способны не только донести сообщение далекому корреспонденту, но и возвратиться к своему передатчику. Оказывается, при попадании на землю после отражения от ионосферы радиоволны частично рассеиваются земной поверхностью и часть их энергии направляется в обратную сторону по тому же пути, по которому бегут волны, посылаемые передатчиком. А вернувшийся сигнал представляет большую ценность. Ведь он доставляет информацию о том месте, где произошло рассеяние радио-

волн. Так зародилась коротковолновая радиолокация, позволяющая «заглянуть» за горизонт.

Нетрудно понять, как это удастся сделать. Луч коротковолнового радиолокатора при встрече с ионосферным «зеркалом» делает излом и, падая на землю, облучает объект, находящийся далеко за горизонтом. Отраженные объектом радиосигналы идут тем же путем в сторону излучающей станции и приносят информацию об объекте. Измерив при помощи электроннолучевого индикатора время путешествия радиоволн до объекта и обратно, узнают, где он находится. Поскольку радиоволны претерпевают при этом, как минимум, трехкратное отражение, сигналы очень ослабевают. Чтобы их воспринять на фоне всевозможных помех, требуется мощный передатчик и высокочувствительный приемник. Зато можно обнаруживать объекты, удаленные на тысячи километров.

Станции сверхдальнего радиолокационного обнаружения используют для обнаружения запусков межконтинентальных ракет и ядерных взрывов на дальностях в несколько тысяч километров. Например, столб пламени, возникающий при старте ракеты, довольно хорошо отражает длинные волны, и эхо-сигнал может быть зафиксирован приемником, а точные координаты цели определяют уже другие станции, когда ракета приблизится к рубежу обороны. Система радиолокационных станций, как утверждает иностранная печать, позволяет регистрировать запуск ракет в любой точке земного шара.

Результаты исследований показали, что при излучении радиопульсов наклонно к горизонту эти импульсы, отразившись от ионосферного слоя, приходят к Земле, где наряду с отражением электромагнитной энергии в направлении распространения имеет место явление рассеивания энергии от неоднородностей земной поверхности во всех направлениях, которое может наблюдаться после каждого скачка.

Рассеивание радиоволн происходит как от неровностей земли, так и от неровностей на морской поверхности. Напряженность поля рассеянного сигнала даже после первого скачка, т. е. на расстоянии около 3000 км, составляет доли процента от напряженности поля сигналов, отраженных в направлении распространения. Поэтому чем большей мощностью обладают радиолокацион-

ные станции, тем лучшую информацию можно получить о характере отдельных пусков ракет.

Принцип работы подобных станций заключается в следующем. Антенне придается соответствующий угол места, в результате чего излучаемые радиопульсы достигают ионосферы и отражаются от нее. Затем они облучают поверхность земли и отражаются от нее или от попадающих в радиолуч воздушных целей. Некоторая часть отраженной энергии возвращается обратно, претерпевая вторичное отражение от ионосферы и достигает антенны станции. Высокочувствительные приемные устройства РЛС способны выделить из шумов пришедшие слабые отраженные от цели сигналы.

В зарубежной печати сообщалось, что на испытательном полигоне станцией сверхдальнего обнаружения, получившей название «Типи», был обнаружен запуск управляемой ракеты «Поларис». Причем на фотопленке был четко запечатлен сигнал, отраженный от выхлопных газов стартовавшей ракеты. Тщательное изучение лент с записями сигналов подтвердило возможность отличать сигналы, отраженные метеорами, разрядами атмосферного электричества, полярными сияниями от сигналов, отраженных выхлопными газами при запусках ракет. Отмечается также, что с помощью таких станций контролировались все запуски ракет и спутников, проведенных в США начиная с осени 1957 г. Кроме того, успешно проводился контроль за атомными испытаниями. Так, ядерный взрыв в южной части Тихого океана был зафиксирован на расстоянии более 12 000 км от места установки станции.

Таким образом, в отличие от обычных радиолокационных станций, работающих в диапазоне более высоких частот, станция сверхдальнего обнаружения имеет дальность действия, не ограниченную пределами прямой видимости. Эта дальность может достигать величины, соответствующей дальности действия межконтинентальных ракет при относительно небольших мощностях по сравнению с мощностями РЛС, предназначенных для обнаружения баллистических ракет.

Однако с помощью одной коротковолновой станции, работающей на принципе возвратно-наклонного зондирования, можно получить только приближенное представление о направлении и дальности до места ядерно-

го взрыва или запуска ракеты. Последнее обстоятельство объясняется тем, что некоторые элементы пути распространения сигнала неизвестны, следовательно, и точное определение координат невозможно. Уточнение координат производят при помощи зондирования искомой области несколькими РЛС, разбросанными на большой территории.

Глава 4

АВТОМАТИЗАЦИЯ ОБРАБОТКИ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ

Помехи — враг номер один для радиолокатора

Слова «помеха», «шум» являются едва ли не самыми частыми в лексиконе персонала, обслуживающего радиолокационные станции. Что же представляют собой помехи, возникающие при радиолокационном приеме, и как с ними ведут борьбу? Об этом мы и расскажем в данной главе.

Прежде всего разделим помехи по месту их возникновения. Помехи, рождающиеся внутри радиолокационного приемника, принято называть внутренними помехами, или шумом. Помехи, возникающие вне радиолокатора, — это внешние помехи.

Что такое «шум» и какова природа его возникновения? Основным источником шума являются тепловые явления, происходящие в радиоцепях приемника. Известно, что при протекании тока по проводам, сопротивлениям и другим деталям провода и детали нагреваются. Нагрев любого тела — это увеличение интенсивности хаотического движения электронов по нему. Поскольку движение электронов по сути дела является электрическим током, то хаотическое случайное движение электронов приводит к появлению случайного сигнала, который и называется тепловым шумом. Если тепловой шум возник в первых каскадах приемника, то в последующих, усиливаясь, он может принять значительные размеры и, в конечном счете, оказаться настолько большим, что на его фоне невозможно будет различать довольно слабые сигналы, отраженные от целей. В таких случа-

ях говорят «цель забита шумами». Борьбу с шумом можно вести, регулируя усиление приемника, уменьшая яркость свечения экрана индикатора и другими методами, которые известны опытному оператору РЛС.

А теперь рассмотрим внешние радиопомехи. По своему происхождению они подразделяются на естественные, создаваемые работой промышленных предприятий, атмосферными явлениями (облака, дождь, грозовые разряды и т. п.) и отражением электромагнитной энергии от различных объектов на местности (столбы, трубы, деревья, дома и пр.), или, как говорят, от местных предметов, и искусственные, создаваемые преднамеренным излучением, переизлучением, отражением или поглощением электромагнитных сигналов с целью затруднения работы РЛС.

В зависимости от способов создания радиопомех и физических явлений, лежащих в их основе, принято различать помехи активные и пассивные.

Активными помехами (рис. 33,б) называются радиопомехи, создаваемые излучением мешающих сигналов с помощью специальных передатчиков. Создавая мешающее излучение на рабочей частоте радиолокатора, можно перегрузить сигналами помехи приемный тракт РЛС и сделать его нечувствительным к сигналу, отраженному от цели. В результате такой перегрузки появляется засветка индикаторов, на фоне которых выделить цель трудно или невозможно. Источник радиопомех может создавать и ложные сигналы, которые на экранах РЛС могут быть приняты за реальные цели.

Как же бороться с активными помехами? Один из способов—это переключение РЛС на запасную частоту. Каждый радиолокатор заранее настраивается не только на основную рабочую частоту, но и на запасную, так что перестройка сводится к простому переключению и практически времени почти не отнимает. Некоторые РЛС могут иметь по несколько запасных частот.

Пассивные помехи (рис. 33,в), как одно из средств, затрудняющих работу РЛС, снижают их боевые возможности и значительно усложняют работу операторов. Они создаются с помощью специальных металлизированных лент (отражателей), способных вызывать в районе их сбрасывания засветы экрана, подобные засвету от местных предметов. При достаточной плотности

пассивных помех цели на их фоне не просматриваются.

Борьба с пассивными помехами состоит в применении специальных устройств, позволяющих селектировать медленно движущееся облако помех на фоне быстро движущейся цели (аппаратура селекции движущихся целей).

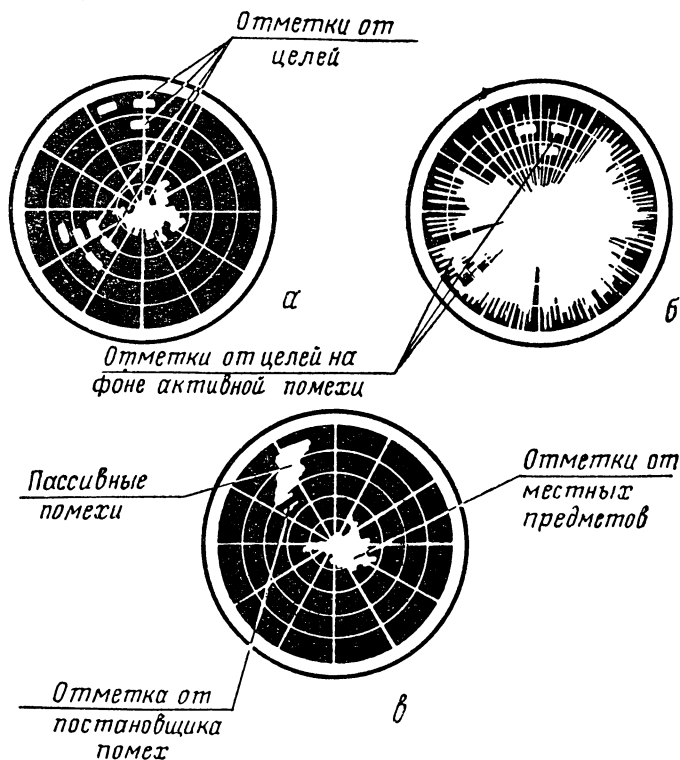


Рис. 33. Виды помех на экранах индикаторов кругового обзора РЛС: а — экран при отсутствии помех; б — активная помеха на экране; в — пассивная помеха на экране

О насыщенности современной авиации зарубежных стран средствами создания помех говорит хотя бы тот факт, что если стоимость такого оборудования американского бомбардировщика перед второй мировой войной составляла 5000 долларов, то в настоящее время — более 750 тысяч долларов. Эффективность применения радиопомех очень большая, если с ними не бо-

руются. Так, в период второй мировой войны интенсивное применение пассивных помех во время массированных налетов англо-американской авиации на города и промышленные объекты Германии сразу же снизило эффективность немецкой противовоздушной обороны. Сбрасываемые с самолетов отражатели в виде полосок фольги в значительной степени дезорганизовали работу радиопрожекторных и радиолокационных станций зенитной артиллерии и управление самолетами-истребителями. В результате уменьшались точность огня зенитной артиллерии и эффективность действия истребительной авиации.

Пассивные радиопомехи против немецких радиолокаторов были применены в большом масштабе англо-американскими войсками при высадке десанта в Нормандии. Для дезорганизации работы радиолокационных станций немцев на побережье Франции, уцелевших после бомбардирования с воздуха, были применены угольные противорадиолокационные отражатели, поднятые на аэростатах с кораблей, и большое количество металлизированной ленты, которая сбрасывалась над Ла-Маншем с самолетов.

Можно привести еще один пример эффективности применения средств радиопротиводействия. Во время второй мировой войны 8-я воздушная армия США в результате применения средств радиопротиводействия сохранила более 450 стратегических бомбардировщиков. Поэтому средства для радиоизлучения, дезориентации и создания помех становятся важнейшим фактором в ведении боевых действий.

Средства радиопротиводействия и борьбы с ним очень разнообразны. Поэтому оператору радиолокационной станции иногда приходится не только бдительно следить за исправной работой оборудования, но и принимать меры к тому, чтобы выявить объект противника на фоне радиопомех. Это иногда не просто. Но в военном деле легких путей нет.

Необходимость автоматизации обработки радиолокационных сигналов

Основу ударных сил армий империалистических государств, как известно, составляют ракеты стратегичес-

кого назначения. Вместе с тем за рубежом продолжается совершенствование пилотируемых средств воздушного нападения и осваиваются новые способы применения ракетно-ядерного оружия.

Для борьбы с воздушным противником предназначены войска противовоздушной обороны, призванные осуществлять надежную оборону воздушного пространства территории страны. Свои задачи эти войска выполняют, уничтожая авиацию и беспилотные средства воздушного нападения. В то же время успех отражения средств воздушного нападения во многом зависит от своевременного их обнаружения, оповещения войск ПВО о начале нападения, быстрого приведения их в готовность к отражению налета и непрерывного управления боевыми действиями частей и подразделений.

Последнее осуществимо только при максимально возможной автоматизации процессов сбора и обработки информации, поступающей от радиолокационных станций, а также автоматизации управления истребительной авиацией и огнем комплексов зенитных управляемых ракет. Необходимость автоматизации большинства операций по сбору и обработке информации, поступающей от РЛС, обусловлена следующими факторами.

Войска противовоздушной обороны страны ведут борьбу с наиболее подвижными средствами воздушного нападения, обладающими большими скоростями полета. Поэтому, чтобы успеть нанести поражение противнику еще на подступах к прикрываемым объектам, подразделения истребительной авиации и зенитных управляемых ракет должны своевременно получить целеуказания.

Что это означает? Поясним сущность боевой задачи на простейшем примере. Допустим, объект, обороняемый одним истребителем-перехватчиком и одним комплексом ЗУР, атакуют два бомбардировщика. Причем для простоты предположим, что комплекс ЗУР и истребитель-перехватчик могут уничтожить одновременно только по одной цели. Задача заключается в том, чтобы рационально рассредоточить усилия комплекса ЗУР и истребителя-перехватчика по двум целям, т. е. исключить тот случай, когда и комплекс ЗУР и истребитель-перехватчик атакуют один бомбардировщик, а второй в это время поражает объект. Другими словами, боевая задача должна указывать, какое боевое средство,

когда и на каком рубеже должно уничтожать конкретную цель, чтобы не допустить бомбардировщиков к объекту.

В данном случае принять решение и поставить боевую задачу для командира не представляет трудности. Однако при наличии в воздухе большого количества самолетов противника и своих истребителей-перехватчиков, при быстротечности боевых действий только применение автоматизированных систем управления может обеспечить командира достаточно достоверными данными о воздушной обстановке, необходимыми ему для своевременного принятия целесообразных решений и быстрого доведения боевых задач до частей и подразделений.

Средства автоматизации управления имеются во всех родах войск. В подразделениях зенитных ракет автоматизированы многие операции, связанные с управлением боем и процессом наведения ракет на самолеты противника.

Требования к сокращению времени получения данных для принятия решения на уничтожение воздушных целей постоянно возрастают, так как быстро растут их скорости. При отсутствии средств автоматизации съема, передачи и обработки радиолокационных сигналов управление войсками главным образом основывалось на умственной деятельности операторов, сидящих за экранами радиолокационных станций, и операторов боевых расчетов. Однако при достаточно сложной воздушной обстановке, когда в воздухе находится несколько десятков своих и чужих целей, причем противник для маскировки применяет все виды помех, операторы боевых расчетов не всегда могут справиться с поставленной задачей.

Если не принять специальных мер, резко уменьшающих расход времени на обнаружение воздушных целей, передачу данных на командные пункты и принятие решения, то общая задача — уничтожение самолета на установленных рубежах — может быть не выполнена.

Исходя из имеющегося опыта и достаточно строгих научных обоснований признано необходимым в первую очередь автоматизировать, сократив время до минимума, следующие процессы:

- съем и передачу данных воздушной обстановки с радиолокационных станций;
- прием и обработку радиолокационной информации от различных РЛС;
- вывод общей воздушной обстановки и динамики боя для наглядного отображения командиру;
- выработку исходных данных, необходимых командиру для принятия решения на отражение налета воздушного противника;
- целеуказание активным средствам и их наведение на противника.

Каждый из перечисленных процессов может быть автоматизирован в соответствии со своими особенностями с помощью различных технических средств. Однако наибольший эффект от автоматизации достигается в том случае, если она тесно увязывается с применением электронных цифровых вычислительных машин. При этом наиболее важные элементы боевой работы формализуются (математически выражаются в виде алгоритмов), по алгоритмам составляются боевые программы и в процессе работы вычислительная машина, реализуя боевые программы, выдает на своем выходе решения для утверждения командиром.

Автоматика помогает оператору

Целью боевой работы оператора РЛС является обнаружение цели, определение ее координат и преобразование полученных координат к виду, удобному для дальнейшего использования и передачи по каналам связи на командный пункт.

Обычно оператор обнаруживает цель по отметке на экране индикатора, по этому же экрану он определяет координаты цели и передает данные о цели на командный пункт. Однако возможности человека-оператора ограничены. Эти ограничения накладываются усталостью, возникающей у него после длительной работы, помехами, которые могут затруднять различить цель, а также возможностями человека передавать по телефону ограниченное количество речи количество информации за единицу времени. Все эти причины могут вызвать как запаздывание в передаче данных о целях,

таки ошибки в определении координат. Кроме того, сигналы от помех могут быть приняты оператором за сигналы от целей, в результате чего возникает ситуация, которую называют «ложной тревогой».

Таким образом, процесс обнаружения целей и определения их координат в большой степени зависит от субъективных особенностей и психического состояния человека-оператора. А задача обнаружения особенно в боевых условиях является настолько ответственной, что подвергать ее решение риску крайне нежелательно.

И вот на помощь оператору в решении задачи обнаружения пришла автоматика. Автоматические устройства обнаруживают цели на фоне помех почти так же хорошо, как человек-оператор, а иногда и лучше, и к тому же автомат ведь не устает!

Устройства, осуществляющие автоматическое обнаружение цели, относятся к классу решающих устройств, которые в результате обработки сигнала приемного тракта радиолокационной станции выдают решение «Есть цель» или «Нет цели». Когда на выходе приемного тракта наблюдается смесь сигнала от цели с шумом, то должно приниматься решение «Есть цель»; в случае чистого шума — решение «Нет цели». Таким образом, устройство обладает способностью различать чистый шум и смесь сигнала с шумом. Однако и шум и сигнал могут принимать разнообразные значения, но в среднем амплитуда смеси сигнала с шумом оказывается выше среднего значения шума.

Один из возможных вариантов процедуры принятия решения состоит в следующем. В области наблюдаемого на входе приемника сигнала устанавливается некоторый порог ограничения амплитуды сигнала x_0 . Все сигналы, превысившие этот порог, считаются сигналами целей и выдается решение «Есть цель». Сигналы, амплитуда которых ниже уровня x_0 , считаются шумом, и принимается решение «Нет цели».

Функциональная схема подобного решающего устройства и осциллограммы входного сигнала и сигнала решения на выходе схемы приведены на рис. 34.

Итак, первая задача — автоматическое обнаружение цели — решена. Теперь следует определить координаты этой обнаруженной цели и представить их в виде, удобном для дальнейшего использования.

Координаты целей в дальнейшем могут обрабатываться в специализированных цифровых вычислительных устройствах, которые, сопоставляя координаты целей, полученные в смежных обзорах РЛС, вычисляют скорости их движения и курсы, а по ним — траекторию полета цели. Такие цифровые вычислительные устрой-

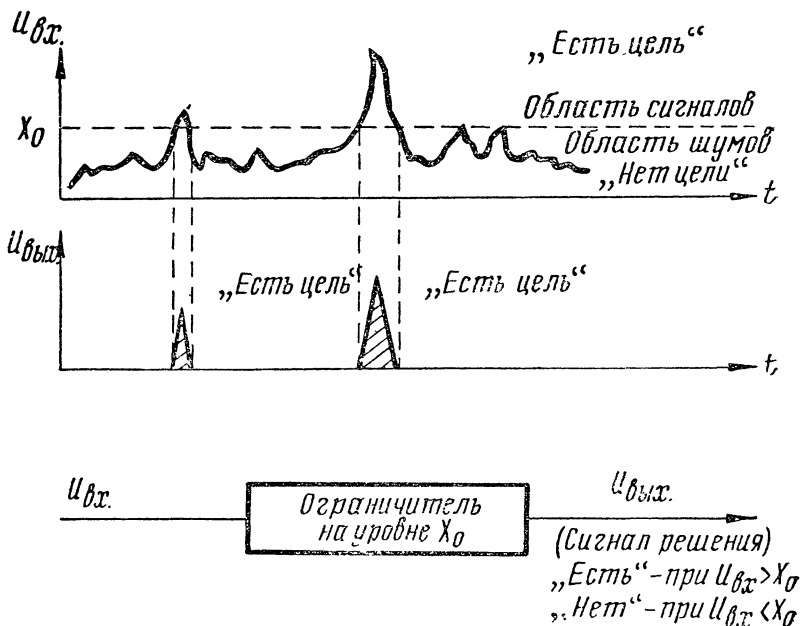


Рис. 34. Функциональная схема решающего устройства для обнаружения целей и эпюры входного и выходного сигналов

ства часто оперируют с двоичными числами. Следовательно, координаты целей в этом случае удобнее всего представлять в виде двоичных чисел, пропорциональных измеряемой координате.

Рассмотрим, как в данном случае может измеряться координата — дальность.

Во второй главе мы выяснили, что дальность до цели пропорциональна времени запаздывания отраженного от цели сигнала относительно зондирующего импульса, поэтому измерение дальности сводится к измерению этого времени запаздывания.

На рис. 35 представлен возможный вариант функциональной схемы измерения дальности. Она включает в себя генератор импульсов времени (ГИВ), счетчик импульсов времени и ключ. Схема начинает работать под действием импульса запуска РЛС (синхронизирующего импульса), который запускает ГИВ и устанавливает счетчик в по-

Запуск ГИВ и установка счетчика на „0“ Импульсы запуска РЛС

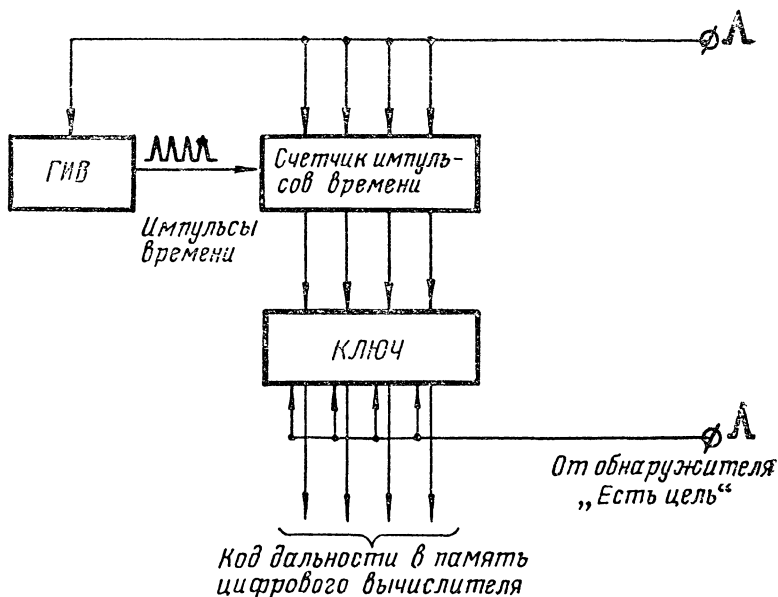


Рис. 35. Функциональная схема автоматического измерения дальности

ложение «О». Импульсы времени с генератора поступают последовательно на счетчик. В результате на счетчике будет формироваться двоичное число, пропорциональное времени, прошедшему с момента прихода импульса запуска. Счетчик через ключ соединен с запоминающим устройством цифрового вычислителя. Съем дальности производится в момент прихода импульса «Есть цель» от автоматического обнаружителя. Под действием этого импульса ключ пропускает пропорциональное дальности двоичное число, записанное в этот момент на

счетчике. Это число записывается в память цифрового вычислителя, откуда оно затем может быть взято для дальнейшей обработки.

Измерим теперь вторую координату — азимут цели.

Измерение азимута цели РЛС сводится к измерению угла поворота антенны в момент, когда она направлена

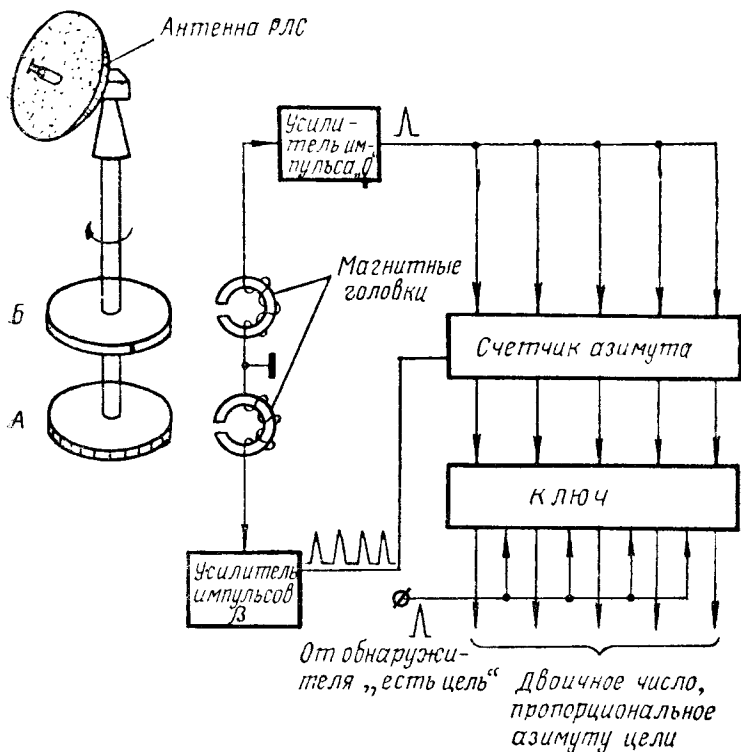


Рис. 36. Принцип устройства автоматического съема и кодирования азимута

на цель. На рис. 36 приведен возможный вариант схемы автоматического съема и кодирования азимута. Она состоит из трех узлов: датчика азимутальных импульсов, счетчика азимута и ключа. В качестве датчика можно использовать два магнитопроводящих диска, жестко связанных с осью антенны. По всей окружности боковой поверхности диска А нанесены углубления (риски), рав-

но расположенные одно от другого. Над поверхностью с рисками располагается магнитная головка. При вращении антенны и дисков благодаря наличию в дисках рисок в магнитных головках генерируются импульсы, которые затем усиливаются и в качестве азимутальных импульсов поступают на счетчик азимута. Таким образом, на счетчике будет формироваться двоичное число, пропорциональное азимуту антенны.

Диск *Б* имеет всего одну риску. Этот диск ориентируется на оси антенны таким образом, что риска совпадает с магнитной головкой при азимуте, равном нулю ($\beta = 0$), и импульс, генерируемый головкой, возникает при $\beta = 0$. Этот импульс нужен для того, чтобы один раз за оборот антенны сбрасывать показания счетчика и устанавливать его на нуль.

Двоичное число, пропорциональное $\beta_{ц}$, проходит на ключ, который открывается под действием импульса «Есть цель», поступающего с автоматического обнаружителя.

Связь РЛС с ЦВМ

Автоматический съём данных о целях, находящихся в зоне обзора РЛС, и автоматический ввод их в цифровую вычислительную машину решает задачу полной автоматизации тех цепей управления, в которые входят радиолокационные станции. За человеком сохраняются лишь функции контроля и принятия окончательного решения на основе данных, подготовленных машиной.

Анализ воздушной обстановки в зоне обзора одной или нескольких РЛС с учетом взаимного расположения и перемещения многих целей одновременно под силу только вычислительному устройству дискретного счета — цифровой вычислительной машине (ЦВМ).

Машины дискретного счета в отличие от устройств непрерывного действия обладают при высоком быстродействии высокой пропускной способностью. Они состоят из множества сравнительно простых стандартных элементов и, следовательно, удобны для массового автоматизированного производства. Одна цифровая вычислительная машина в силу ее универсальности и высокого быстродействия заменяет большое число вычислительных устройств непрерывного действия.

В цифровых вычислительных машинах наибольшее распространение получила двоичная система счисления в отличие от общепринятой десятичной системы счисления. Двоичная система счисления имеет основание 2; каждая единица какого-либо разряда содержит в себе две единицы предыдущего разряда. Для передачи любого числа используются только две цифры: 0 и 1.

Двоичная система оказалась наиболее удобной для цифровых машин главным образом потому, что большинство электронных схем записи и передачи чисел (триггеры, реле и т. д.) могут принимать два резко противоположных устойчивых состояния: открыто и закрыто, включено и выключено, заряжено и разряжено (да и нет). Одному положению приписывают значение 1, другому 0. Каждый разряд двоичного числа может быть передан одним из таких элементов, принимающим одно из двух возможных положений.

Числа двоичного кода в виде перепадов напряжения или импульсов могут быть представлены двояким образом. Во-первых, все разряды числа могут выдаваться и передаваться одновременно; каждому разряду соответствует свой провод. Во-вторых, число может передаваться последовательно, разряд за разрядом, по одному проводу. Соответственно этому и вычислительные машины делятся на машины параллельного и последовательного действия. Первые обладают большим быстродействием, но значительно сложнее.

При работе совместно с радиолокационной станцией цифровая вычислительная машина выполняет функции оператора, а окончательным устройством РЛС в отличие от индикатора является устройство инструментального съема данных (рис. 37).

Устройство инструментального съема данных выполняет две основные операции. Задачей первой операции является выделение полезного сигнала, отраженного от цели, на фоне неизбежных помех (шумов). Эта операция называется первичной обработкой сигнала и выполняется блоком предварительной селекции или сокращенно преселектором. Естественно, что все сигналы, которые по своим характеристикам будут похожи на сигнал, отраженный от цели, также пройдут через преселектор. Поэтому окончательное подавление помех производится в самой вычислительной машине. Преселектор произво-

дит лишь предварительное выделение сигнала, откуда он и получил свое название.

Второй операцией является считывание координат, производимое схемой выдачи данных двоичных кодов. Эта схема является второй составной частью устройства инструментального съема данных. Фактически данные о координатах цели уже содержатся в самом принятом сигнале. Так, время запаздывания эхо-импульса относительно импульса синхронизации определяет дальность цели. Для измерения времени запаздывания на схему выдачи данных должны подаваться, следовательно, импульсы цели и импульсы запуска.

Положение цели по угловым координатам определяется по направлению оси антенны РЛС в момент прихода эхо-сигнала. Для этой цели данные об угловом положении антенны подаются от привода антенны на схему выдачи данных. Все считанные величины координат цели в виде двоичного кода поступают в блок памяти цифровой вычислительной машины. Эта операция напоминает считывание координат целей оператором по шкале экрана индикатора.

Устройство инструментального съема данных в от-

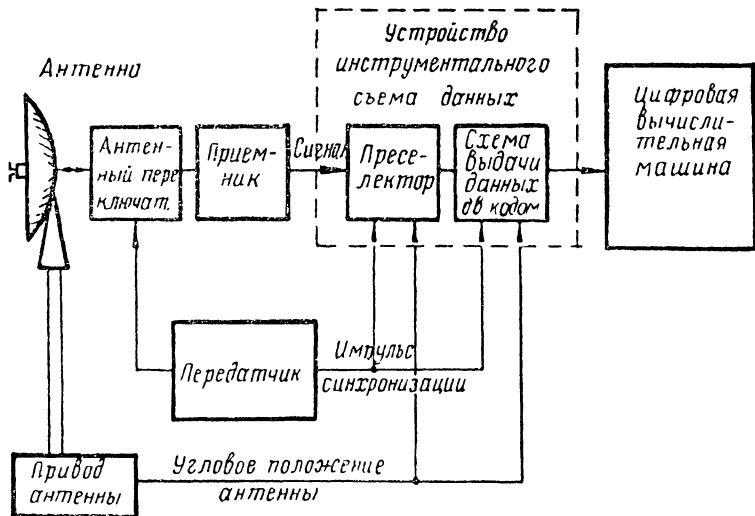


Рис. 37. Вариант сопряжения РЛС и ЦВМ

личие от индикатора не решает задачу воспроизведения (запоминания) воздушной обстановки за весь цикл обзора. Теперь эту функцию выполняет блок памяти самой ЦВМ.

Таким образом, функции выделения сигналов, отраженных от цели, измерения координат и запоминания воздушной обстановки при работе РЛС на цифровую вычислительную машину разделены, в то время как при визуальном съеме данных о целях все эти операции выполняются на экране индикатора. Благодаря такому разделению каждая из функций в отдельности может выполняться более качественно, так как трудно создать устройство, которое бы одинаково хорошо выполняло разнородные задачи.

Как известно, при визуальном наблюдении активную роль играет сам оператор. Наблюдая за положением отметок на экране индикатора от одного цикла обзора к другому, оператор отличает ложные цели от действительных. Если, например, в какой-либо точке экрана появилась одиночная отметка, оператор фиксирует ее как возможную цель. Если в следующем обзоре отметка появилась вновь и, кроме того, сдвинулась на некоторое расстояние, то уже имеется достаточно веское основание для принятия решения об обнаружении цели. Естественно, по отметкам, полученным после трех последовательных обзоров, вероятность правильного обнаружения будет еще больше. Одновременно можно определить направление и скорость движения цели.

Другими словами, при наблюдении сигналов на индикаторе РЛС можно заметить, что отметки от цели перемещаются и вырисовывают траекторию полета, повторяя с некоторой точностью движение цели в пространстве. Вследствие этого отметки цели в основном сохраняют те закономерности, которые свойственны самой цели.

Аналогичную задачу должна выполнять цифровая вычислительная машина, заменяющая оператора. Для этого ЦВМ, анализируя изменение координат целей, поступивших в ее память, устанавливает закономерности их изменения от обзора к обзору для каждой цели в отдельности. Благодаря этому машина имеет возможность отбросить ложные цели, обусловленные помехами, просочившимися через преселектор, ибо в их изменении обычно отсутствует какая-либо закономерность.

Подобная операция, выполняемая ЦВМ, носит название вторичной обработки радиолокационных данных о целях в течение нескольких циклов обзора.

При анализе траектории целей цифровая машина может одновременно выдавать данные о скорости и направлении движения целей. При визуальном съеме данных оператор практически имеет возможность только оценить, а не измерить эти параметры.

Вторичная обработка данных цифровой вычислительной машиной отличается высокой точностью и быстротой, учетом большого числа объектов и факторов одновременно, а также отсутствием грубых промахов, свойственных человеку вследствие усталости, недостатка времени и влияния внешних условий. Однако ни одна машина не может быть рассчитана на любую возможную ситуацию, поэтому за человеком должна сохраняться возможность контроля и вмешательства в действия машины.

Кроме рассмотренных задач по обработке радиолокационной информации, поступающей от одной РЛС, цифровые вычислительные машины могут решать еще одну задачу, которая связана с объединением информации о целях, полученной от нескольких различных РЛС, и созданием единой картины воздушной обстановки. Поскольку это уже третий вид обработки радиолокационной информации, то она получила название третичной.

Необходимость третичной обработки информации обусловлена тем, что сведения об одной и той же цели могут поступать одновременно от нескольких станций. В идеальном случае такие отметки целей должны накладываться одна на другую. Однако практически совпадения не происходит из-за систематических и случайных ошибок в измерении координат целей, различного времени локации, а также из-за ошибок, возникающих при учете параллакса между точками стояния РЛС и пунктом третичной обработки, где находится ЦВМ.

Используя всю известную информацию об отметках целей: их координаты, параметры движения, время локации, государственную принадлежность, номера целей, номера РЛС, выдавших ту или иную радиолокационную информацию, ЦВМ дает однозначный ответ: сколько целей в действительности находится в контролируемой зоне.

Третичная обработка является завершающим этапом получения информации о воздушной обстановке.

МИРНАЯ РАДИОЛОКАЦИЯ

Представь себе, наш молодой читатель, что ты заканчиваешь воинскую службу в сухопутных войсках, в авиации или на флоте, которую ты проходил на радиолокационной станции. Ты упорно и настойчиво изучал радиолокацию, приобрел солидные практические навыки в эксплуатации и ремонте вверенной тебе боевой техники. По мере того, как срок армейской службы близится к концу, тебе все чаще приходят в голову насущные жизненные вопросы: «А что же дальше? Куда сможет направить свои стопы специалист-радиолокаторщик? Где и как применяется радиолокация в народном хозяйстве?»

В этой короткой главе мы постараемся ответить на волнующие тебя вопросы.

В настоящее время радиолокация применяется не только в военном деле. Теперь она успешно служит во многих областях мирной жизни, помогает решать сложные задачи науки.

В авиации и на флоте

Гражданская авиация насыщена радиолокационной техникой, может быть, чуть меньше, чем военная. В каждом аэропорту имеется, к примеру, радиолокационная станция метеорологического обеспечения полетов. Она определяет местоположение грозовых фронтов, дает их характеристики, ведет наблюдение за развитием и распространением ураганов и штормов в своей зоне действия. Составленные на основе этих данных сводки погоды немедленно поступают на все аэродромы и центры управления воздушным движением.

Современный аэродром обычно имеет взлетно-посадочную полосу. Когда нужно выпустить в полет или посадить большое количество самолетов, без радиолокационной станции управления воздушным движением не обойтись. Такая станция обычно

работает совместно с вычислительной машиной и с нее поступает команда на взлет или посадку того или иного самолета. При этом учитывается продолжительность полета, очередность прибытия к аэродрому, состояние взлетно-посадочной полосы и целый ряд других факторов. Эта станция держит под наблюдением взлетно-посадочную полосу и кольцевые дороги аэродрома. Она может обеспечить бесперебойный, быстрый взлет и посадку большого количества самолетов. Добиться высокой пропускной способности аэродрома без радиолокации нельзя.

Советская радиолокационная система «Утес», как показали испытания, — лучший регулировщик на воздушных дорогах. Луч локатора принимает самолет на расстоянии в сотни километров, на высоте нескольких тысяч метров и сопровождает его до аэродрома. В считанные секунды выдается информация о типе лайнера, азимуте, высоте полета, количестве горючего на борту. «Утес» впервые применили для управления воздушным движением под Москвой.

Но возможности систем такого рода не ограничиваются обслуживанием одного аэродрома. Создан, например, проект системы управления воздушным движением, которая контролирует до 200 взлетно-посадочных полос одновременно. В этой системе сигналы от всех вновь обнаруженных самолетов подаются на вычислительную машину, которая автоматически устанавливает государственную принадлежность самолета и контролирует его полет, сравнивая реальную трассу с заранее заложенным в ее памяти планом полета. При отклонении самолета от трассы система подает сигнал тревоги.

При посадке заботу о безопасности самолета и его экипажа берут на себя радиолокационные системы посадки. Одна из таких систем имеет два радиолуча, которые контролируют движение самолета в вертикальной и горизонтальной плоскостях. Перед диспетчером аэропорта светятся два экрана, показывающие положение самолета, его отклонение от курса и оптимальной кривой снижения — глиссады. Как только светящаяся отметка сместится от заданного курса, или глиссады, диспетчер сообщает пилоту об ошибке и тот возвращает самолет на истинный путь.

На борту современных воздушных лайнеров, так же

как и на военных самолетах, установлены радиовысотомеры и даже панорамный радиолокатор. Последний позволяет экипажу самолета не только «видеть» землю, но и «просматривать» воздушную дорогу впереди машины. Если направлять излучение радиоволн не вниз, а по курсу движения, то штурман сможет наблюдать за метеорологической обстановкой впереди корабля на удалении до 300 километров. Это позволяет летчику своевременно обнаружить опасный грозовой фронт и обойти его стороной, позволяет нащупать свободный проход между облаками.

Корабли гражданского флота оснащены радиолокационным оборудованием, без которого немыслимо сейчас ни одно морское, да и речное плавание.

РЛС кругового обзора позволяет штурману наблюдать за окружающим морским пространством и выбирать такой курс судна, при котором исключается столкновение с другими судами или, например, с плавучими льдинами. Наблюдая за экраном, штурман по контурам побережья выбирает верную дорогу в порт, обогнув опасные участки пути. При подходе к фарватеру, огражденному буйами, снабженными специальными радиолокационными отражателями, штурман видит на экране два ряда светлых точек, между которыми и следует провесить судно.

В каждом порту имеется береговая РЛС, с помощью которой осуществляется проводка судов и контроль за их движением. Она очень помогает судовождению в туман и в плохую погоду. Диспетчер, наблюдая за морской обстановкой, по радио дает команды на суда при подходе их к порту.

Итак, если перечислить типы радиолокационных станций, применяемых только в гражданской авиации и на флоте, то получим довольно длинный перечень. Вот он: метеорологические РЛС; РЛС кругового обзора как воздушного, так и морского пространства; РЛС управления воздушным движением и движением судов; радиолокационные системы посадки самолетов и проводки судов вблизи побережья. Это только на земле. На борту самолета устанавливается панорамная РЛС, оборудование для слепой посадки. В него входят обычно радиолокационный высотомер, доплеровская РЛС, определяющая скорость полета, система предотвращения

столкновения в воздухе. Она определяет координаты и скорость объектов, представляющих опасность для самолета. Бортовая вычислительная машина строит по этим данным траектории движения встречного самолета и прокладывает безопасный курс движения воздушного корабля.

На борту морских да и крупных речных судов установлены: радиолокатор кругового обзора и радиолокационные системы швартовки и предупреждения столкновения.

Вот один из примеров того, как помогла радиолокация морякам.

Танкер «Братислава» Новороссийского морского пароходства шел по Атлантике, когда на экране РЛС кругового обзора появилось изображение непонятного препятствия. Операторы сообщили об этом капитану. Моряки терялись в догадках — что это? На судне объявили тревогу, сбавили ход, задраили иллюминаторы. Через несколько минут произошло столкновение с огромной тучей черных жуков. Они буквально засыпали палубу и надстройки, покрыв их толстым шевелящимся слоем. Неприятные насекомые проникли во все укромные места, забились в щели. Экипажу потребовался целый день, чтобы выбросить за борт непрошенных гостей. Объявленная тревога оказалась излишней.

И даже в Госавтоинспекции

Все мы видели оранжевые милицейские «Волги», однако не каждый обратил внимание на то, что на крышах многих из них имеется антенна. Она принадлежит портативной РЛС, определяющей скорость движения автомобилей.

На автострадах, ведущих к столице, появились транспаранты с обращением к водителям: «Внимание! Движение контролируется вертолетами и радарам». Сотрудники ГАИ получили самые современные средства наблюдения за порядком на дорогах и для предотвращения транспортных происшествий.

С одного из подмосковных аэродромов поднимается вертолет КА-26, окрашенный в ярко-желтый цвет и имеющий на борту хорошо заметную надпись «ГАИ». В

кабине рядом с пилотом дежурный инспектор отделения вертолетного патрулирования. КА-26 оснащен фото- и кинокамерами, мощными акустическими устройствами и динамиками, укрепленными под фюзеляжем. Специальный радиопередатчик позволяет поддерживать непрерывную связь с автомашинами «Волга» ГАЗ-24, следующими в том же направлении, что и вертолет. Эти автомобили оборудованы радарными приборами, с высокой точностью измеряющими скорость движения транспорта по шоссе. Едва нарушитель превысил установленную скорость, радиолокатор отметил это на своей шкале, а кроме того, запищал зуммер и вспыхнула сигнальная лампочка.

Воздушное патрулирование дорог осуществляется на высоте нескольких десятков метров. Если на дороге случится происшествие, вертолет тут же вызовет ближайший наземный патруль, а при экстренной необходимости сам совершит посадку рядом с потерпевшей аварию машиной, возьмет на борт пострадавших и доставит их в больницу.

Радиолокация помогает Госавтоинспекции не только следить за соблюдением правил уличного движения, но и облегчает управление автомобилем при плохой погоде. На выставке научно-исследовательского центра фирмы Филипс недавно демонстрировали модель микроволнового радиолокатора, который устанавливается на автомашине. Какие бы каверзы ни приготовила погода: дождь, туман или снег — на экране перед водителем четко видно изображение дороги со всеми движущимися и недвижимыми предметами на расстоянии до 60 метров. Водитель может уверенно вести машину, почти не снижая скорости.

Для утомленных, невнимательных или просто неумелых водителей полезно установить в автомашине и другую новинку радиолокационной техники — радиолокационную станцию, управляющую тормозным устройством автомобиля. Одна из американских фирм приступила к широкой продаже таких устройств, имеющих два режима работы. Первый режим — загородный. Радиолокационная станция начинает притормаживать автомобиль в случае приближения к какой-либо преграде ближе чем на 50 метров. При любой скорости движения система остановит автомобиль не ближе чем за 2—

3 метра до препятствия. Второй режим — городской. При работе в таком режиме система рассчитана на движение со скоростью не более 40 километров в час. Торможение начинается с расстояния 9—12 метров, полная остановка в 2—3 метрах от преграды. Специалисты считают, что такое устройство будет пользоваться большим спросом у автомобилистов.

Управление движением автомашин в туннелях осуществляет радиолокационная система. В 1966 году близ Амстердама был открыт для автомобильного движения подводный туннель, длина которого около 1,5 километра. По шоссе на полотну туннеля в обоих направлениях в несколько рядов непрерывно движется плотный поток машин. За сутки через туннель в каждом направлении проходит около 20 тысяч автомобилей. При таком интенсивном движении на открытых дорогах часто ставят регулировщика, а уж в туннеле, где почти невозможно маневрировать, система управления движением просто необходима. Эту трудную задачу выполняет радиолокация.

Вдоль обеих обочин дорожного полотна в туннеле установлено по 30 радиолокационных датчиков. Когда машина, идущая в первом ряду, проходит мимо такого датчика, в его приемник попадает отраженный импульс, который передается в диспетчерский пункт. Машины второго, третьего и последующих рядов не регистрируются датчиком, так как они экранируются автомашинами первого, ближайшего к датчикам, ряда. Казалось бы, что система не может управлять движением, если она «видит» только машины первого ряда. Но это не так. Если датчики регистрируют не только проезд каждой автомашины, но и определяют ее скорость, то можно эффективно управлять движением. В роли регулировщика выступает вычислительная машина, к которой поступают сигналы от датчиков.

При нормальной обстановке все машины движутся более или менее равномерно с установленной скоростью, скажем 60 километров в час, и вмешательства вычислительной машины не требуется. Но вот на каком-то участке туннеля скорость машин падает почти до нуля. Внимание! Где-то впереди затор! Нужно срочно принять меры, переключить светофоры и вызвать техническую помощь. Если происшествие случилось в первом

ряду, то автомашины могут не снижать скорости, а перестроиться на ходу в соседний ряд. Неужели ЭВМ-регулирующий не заметит аварии? Нет, этого не случится. Каждая из входящих в туннель машин последовательно отмечается всеми датчиками, мимо которых она прошла. Если машина перестраивается во второй ряд, то импульсы от нее поступать больше не будут. В памяти ЭВМ строится как бы траектория движения всех машин первого ряда, и если вдруг отметка от нескольких последовательно идущих автомашин после прохождения ими какого-то датчика пропадает, значит, впереди авария. ЭВМ подает сигнал тревоги и показывает на экране специальной телевизионной системы место аварии. Радиолокационная система к тому же считает количество прошедших автомобилей.

Незаменимый помощник ученого и исследователя

Между наукой и радиолокацией сложились хорошие отношения, полезные для обеих сторон. Ученые непрерывно работают над усовершенствованием методов и техники радиолокации, а она, в свою очередь, оказывает им посильную помощь в исследовании природы.

Впервые радиолокационные методы были использованы в науке для исследования ионосферы. Вспомните, ведь первым прототипом радиолокаторов была именно ионосферная станция М. А. Бонч-Бруевича.

Сведения об ионосфере представляют не только чисто академический интерес, но и имеют большую практическую ценность. Зная характеристики ионосферы, можно прогнозировать условия распространения радиоволн, используемых в различных системах связи.

Незаменимым помощником стала радиолокация и для метеорологов. Самый простой метод наблюдения за погодой — это запуски шаров-зондов с метеоприборами. Если к такому шару-зонду прикрепить легкий металлический отражатель, то радиолокатор проследит за его перемещением на расстоянии в несколько сот километров. При этом удастся установить скорость и направление воздушных течений на различных высотах. Это, так сказать, косвенный метод наблюдения за атмосферой. Но радиолокация может и непосредственно наблю-

дать за облаками, грозowymi фронтами и тайфунами. Характеристики современных станций настолько совершенны, что позволяют не только регистрировать движение фронтов облачности, но и оценивать интенсивность осадков. Особенно важную роль играют метеорологические радиолокаторы при наблюдении за ураганами и тайфунами. На основании полученных данных посылаются предупреждения командам судов, находящихся в угрожаемых районах, и летчикам, маршруты полета которых пролегают вблизи опасных мест.

Например, центральная авиаметеорологическая станция Москвы, обслуживающая московские аэродромы и оснащенная весьма совершенными радиолокационными станциями, только за 1969 год обеспечила 200 тысяч самолетов-вылетов. Причем ни один самолет не возвратился из рейса из-за неоправдавшегося прогноза.

Высокая точность измерения расстояния до отражающего объекта, которую обеспечивают современные станции, позволяет использовать радиолокацию для картографирования земной поверхности, причем картографирование может осуществляться с самолетов, что позволяет охватить сразу очень большие площади.

Радиолокация помогает осуществлять ледовую разведку в Арктическом бассейне. Еще в начале основания Северного морского пути полярная авиация помогала морякам покорять суровые северные моря. Поднимается в воздух самолет с разведчиками на борту. Они зарисовывают ледовую обстановку, намечают на карте возможный маршрут движения каравана. Потом самолет на бреющем полете проносится над судном и сбрасывает на палубу вымпел с этой картой. Но в суровых условиях Арктики даже опытные пилоты не всегда могли вылететь на разведку — мешала погода. То была разведка визуальная. А теперь благодаря радиолокации применяется разведка инструментальная. Для этого на борту самолета смонтирована радиолокационная установка «Торос». Каждые четыре минуты луч радиолокатора охватывает с большой высоты площадь в сотни квадратных километров, специальный фотоаппарат фотографирует изображение на экране радиолокатора — и подробная карта ледовой обстановки готова.

Вот один из случаев, когда радиолокатор «Торос» помог даже геологам. На полярном Урале летом

1969 года несколько недель подряд шли проливные дожди. Провести аэрофотосъемку перед выходом полевых партий геологов не удалось. Тут-то и выручила радиолокация. Поднялся с Воркутинского аэродрома Ан-24 со своим «Торосом», и суровый лик уральской земли со всеми ее морщинами запечатлелся на пленке.

Космическая радиолокация

Всем, кто внимательно следит за ходом работ по исследованию космоса, известна та важная роль, которую играет в этих исследованиях радиолокация.

В 1946 году был впервые осуществлен прием отраженных радиолокационных сигналов при облучении Луны. С тех пор Луна непрерывно изучается с помощью радиолокационной установки. Радиолокация помогла не только точно измерить расстояние до Луны, но и высказать целый ряд предположений о ее строении и характере поверхности. Нетрудно понять, насколько необходима была эта информация для посадки на поверхность Луны советских автоматических межпланетных станций и космических кораблей «Апполон» с исследователями на борту.

В 1961 году ученым СССР, США и Англии удалось получить отраженные сигналы при радиолокации Венеры.

Дальнейшими этапами развития космической радиолокации были успешные опыты по исследованию Марса и даже Юпитера в 1963 году. Насколько трудно было осуществить эти эксперименты, позволяют судить такие цифры. Расстояние до Юпитера 1 200 000 000 километров, задержка обратного сигнала 1 час 6 минут, время, за которое накапливался слабый отраженный сигнал, — свыше 20 часов. Представляете себе, сколько труда было вложено в создание такого чувствительного радиолокатора, который смог бы «поймать» цель, удаленную на такое огромное расстояние? И все-таки наши советские специалисты смогли решить и эту задачу.

Ученые и радиоспециалисты США осуществили успешный эксперимент по радиолокации Солнца. И в этом случае слабый эхо-сигнал пришлось накапливать 17 минут. В этом эксперименте удалось получить дан-

ные о характере радиоизлучения Солнца, о движении массы солнечной короны и о скорости солнечного ветра. Вывод космических кораблей на орбиту, слежение за траекторией их полета, мягкая посадка межпланетных станций и приземление космических кораблей с экипажем на борту, даже поиск уже приземлившихся или приводнившихся кораблей — вот далеко не полный перечень задач, выполняемых радиолокационными станциями.

Сближение космических кораблей на орбите, их путешествия к Луне и обратно показывают, какого высокого уровня достигла современная радиолокация.

В 1970 году был проведен космический эксперимент, в ходе которого советская автоматическая станция «Луна-16» доставила на Землю образцы лунного грунта. Точность выведения станции на орбиту, управление ее полетом, организация бурения и возвращение «Луны-16» на Землю удивили всех, кто следил за ходом этого уникального эксперимента.

Значительная часть вполне заслуженных похвал должна быть отнесена и к радиолокации. С ее помощью специалисты контролировали запуск космического корабля, следили за совпадением истинной траектории с расчетной. Данные радиолокаторов послужили исходным материалом для расчета маневра коррекции траектории. Радиовысотомер помог станции осуществить мягкую посадку на поверхность Луны. Те же радиолокаторы, что сопровожали «Луну-16» в трудный полет, встретили ее на обратном пути и «привели» в точку приземления.

В недалеком будущем на космических орбитальных аппаратах предполагается устанавливать радиолокационные станции, которые позволят не только проводить научные исследования, но и помогут решать важные народнохозяйственные задачи.

В заключение мы позволим себе привести перечень областей применения космической радиолокационной техники.

Сельское и лесное хозяйство: исследование плотности растительного покрова, распределение лесных массивов, лугов и полей, определение вида почв, их температуры и влажности, контроль за состоянием ирригационных систем, обнаружение пожаров.

География: определение структуры землепользования, распределение и состояние транспорта и систем связи, развитие систем переработки природных ресурсов, топография и геоморфология.

Геология: определение состава пород и их структуры, стратиграфия осадочных пород, поиск минеральных месторождений, отработка техники разведки полезных ископаемых.

Гидрология: исследование процессов испарения влаги, распределение и инфильтрация осадков, изучение стока грунтовых вод и загрязнения водных поверхностей, определение характера снегового и ледового покрова, наблюдение за водным режимом главных рек.

Океанография: определение рельефа волнующейся поверхности морей и океанов, картографирование береговой линии, наблюдение за биологическими явлениями, проведение ледовой разведки.

Пока еще очень трудно говорить о конкретных схемах космических радиолокаторов, которые будут проводить эти исследования, но уже сейчас можно представить тот огромный объем работы, который им предстоит выполнить.

Если вдуматься в приведенный перечень областей, где применяется сегодня и где будет применяться завтра радиолокационная техника, то станет очевидным, какая большая армия людей требуется для ее внедрения, обслуживания и дальнейшего развития.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Стр.

Глава 1.	Как возникла и развивалась радиолокация?	3
	Одно из чудес современной техники	3
	У истоков радиолокации	4
	Радиолокация начинает действовать	6
Глава 2.	Как осуществляется радиолокация?	12
	Радиоэхо	12
	Координаты целей и параметры их движения	13
	Как определить дальность до цели?	15
	В чем преимущества непрерывной радиолокации перед импульсной?	20
	Определим теперь не только расстояние, но и направление	23
	А ведь нужно еще и опознать цель	26
	Как работает радиолокатор?	30
	Основные характеристики РЛС	37
Глава 3	Где и как применяется радиолокация?	40
	Радиолокаторы войск противовоздушной обороны	40
	Радиолокация в авиации	54
	Радиолокация в Военно-Морском Флоте	66
	Радиолокаторы сухопутных войск	78
	Сверхдальняя радиолокация	86
Глава 4.	Автоматизация обработки радиолокационных сигналов	92
	Помехи — враг номер один для радиолокатора	92
	Необходимость автоматизации обработки радиолокационных сигналов	95
	Автоматика помогает оператору	98
	Связь РЛС с ЦВМ	103
Глава 5.	Мирная радиолокация	108
	В авиации и на флоте	108
	И даже в Госавтоинспекции	111
	Незаменимый помощник ученого и исследователя	114
	Космическая радиолокация	116

Анатолий Николаевич Романов,

Григорий Андреевич Фролов

РАДИОЛОКАЦИЯ — ЧТО ЭТО?

Редактор *И. А. Конюшенко*

Художественный редактор *Г. Л. Ушаков*

Технический редактор *В. Н. Кошелева, З. И. Сарвина*

Корректор *М. П. Горбунова*

Г-30743 Сдано в набор 27/VII-73 г. Изд. № 2/64

Подписано к печати 3/XII-1973 г. Бумага типографская № 3

Формат 84×108¹/₃₂ Тираж 64 000 экз.

Цена 19 коп. Объем физ. п. л. 3,75 Усл. п. л. 6,3 Уч.-изд. л. 6,23

Изд-во ДОСААФ, Москва, 107066, Б-66, Новорязанская ул., д. 26

Тип. Изд-ва ДОСААФ. Зак. 368

Цена 19 коп.