

# НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ И ВОЕННО-ПОЛИТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ЗАРОЖДЕНИЯ РАДИОЛОКАЦИИ

---

Термин локация произошел от латинского слова *locatio* — размещение, распределение и в современной интерпретации означает определение местоположения объекта по сигналам, излучаемым самим объектом (случай пассивной локации), или отраженным от него сигналам, излучаемым локатором (случай активной локации). В зависимости от вида используемых сигналов различают звуковую, тепловую, оптическую и радиолокацию.

Следует отметить, что термин радиолокация появился в 1942 г., т.е. значительно позже зарождения радиолокационной науки и техники. Несмотря на то, что основные теоретические принципы радиолокации получили практическое подтверждение в экспериментах ученых-исследователей разных стран в течение 1900–1920-х гг., действующие радиолокационные системы появились значительно позже.

Если считать, что началом развития радиолокации является создание первых радиолокационных станций (РЛС) на уровне экспериментальных или опытных макетов, лабораторных установок и т.д., способных не только обнаруживать объекты, но также измерять их координаты, то зарождением радиолокации следует признать начало 1930-х гг. прошлого столетия. Здесь следует отметить, что возможность определения координат объектов (дальности и направления) является принципиальным отличием РЛС от всех макетов и установок предшествующих лет, не обеспечивающих таких возможностей. Это отличие РЛС от различного рода обнаружителей объектов или сигналов определило и другое распространенное название — *radar* (англ. *radar*), которое является сокращением английских слов **radio detection and ranging** и переводится как радиообнаружение

и измерение дальности. В настоящее время слова РЛС, радар и радиолокатор являются синонимами.

Зарождение радиолокации обусловлено, прежде всего, научно-техническими достижениями, позволившими реализовать на практике идеи по обнаружению и измерению координат воздушных, наземных и надводных объектов. Принципиальная возможность отражения радиоволн от различных объектов, лежащая в основе работы радиолокаторов всех видов, была обнаружена еще Генрихом Герцем (рис. 1.1) во время опытов, проводимых им в 1886–1888 гг. с длинами волн в 66 см. Позже, в 1897 г. русский физик, изобретатель радиосвязи Александр Степанович Попов (рис. 1.2) во время опытов по радиосвязи между кораблями «Европа» и «Африка» на Балтийском море зарегистрировал влияние корабля, пересекающего радиотрассу, на уровень принимаемого сигнала. Это явление впоследствии было использовано в радиолокационных системах, работающих «на просвет».



**Рис. 1.1.** Генрих Герц (1857–1894), немецкий физик



**Рис. 1.2.** Александр Степанович Попов (1859–1905), русский физик, изобретатель радиосвязи

Первый патент на радиолокатор в 1904 г. получил немецкий изобретатель Кристиан Хюльсмайер (рис. 1.3). Устройство, созданное им и названное «Телемобилоскоп», позволяло с помощью радиоволн обнаруживать крупные объекты (корабли) на дальности до 3 км.



**Рис. 1.3.** Кристиан Хюльсмайер (1881–1957), немецкий изобретатель, пионер радиолокации

Это устройство, согласно описанию в патентной заявке К. Хюльсмайера, содержало в себе основные элементы современного локатора: радиопередатчик, две антенны направленного действия, радиоприемник, воспринимающий отраженные объектами волны и световой или звуковой индикатор. Макет К. Хюльсмайера не позволял измерять дальность до объектов и, по сути, являлся радиодетектором. Однако, несмотря на это К. Хюльсмайер по праву считается пионером радиолокации.

Практического применения и дальнейшего развития изобретение К. Хюльсмайера не нашло, так как в то время ни военных, ни гражданских задач для использования подобных приборов не существовало.

Впоследствии, во время и после Первой мировой войны в связи с появлением авиации и необходимостью обнаружения и уничтожения самолетов противника появился интерес к средствам обнаружения воздушных объектов. В 20-е гг. прошлого столетия в ряде стран — Великобритания, США, СССР, Германия, проводились опыты по обнаружению объектов и измерению расстояний до них с помощью радиоволн. Результаты этих опытов подтверждали возможность обнаружения объектов и измерения их координат (расстояния и углов) на дальностях в несколько десятков километров. Именно в эти годы создавались

предпосылки развития основ теории радиолокации: методы направленного излучения для решения задач пеленгации, обнаружение движущихся объектов на основе эффекта Доплера, измерение расстояний с помощью импульсных сигналов и на основе интерференции радиоволн и др.

Но одной теории было недостаточно. Для практической реализации идеи радиолокации необходимо было разработать устройства генерирования сигналов большой мощности (передатчики), приемные и передающие антенны с высокой степенью направленности излучения или приема (этот важнейший параметр антенны называется коэффициентом направленного действия (КНД)), высокочувствительные радиоприемные устройства, устройства обнаружения сигналов и индикации и многое другое.

Замечание. КНД антенны показывает во сколько раз интенсивность ее излучения, концентрируемая в направлении узкого луча, превосходит интенсивность излучения ненаправленной антенны в том же направлении при одинаковых мощностях излучения обеих антенн. Например, для антенны, формирующей луч, шириной  $3,6^\circ$  в горизонтальной и вертикальной плоскости (луч в форме конуса), КНД равно 2780 (или примерно 34 дБ).

Такие устройства начали появляться в 20-е гг. прошлого столетия. Характеристики этих устройств, такие как длина волны излучаемого колебания, мощность и стабильность генератора передатчика, КНД антенн и др. в значительной степени определяли тактические характеристики будущих РЛС: дальность действия, точность измерения угловых координат, дальности, скорости и др.

При всем многообразии составных устройств радаров, основным следует признать создание магнетрона (генератора высокочастотных колебаний) — «сердца» радиолокатора, изобретение которого стало революционным событием, так как только переход в сантиметровый диапазон радиоволн мог существенно улучшить основные параметры радиолокаторов.

### *Антенны с направленными свойствами*

Для определения направления на цель (объект лоцирования) приемная и (или) передающая антенна радара должна обладать направленными свойствами. При этом, чем меньше ширина луча антенны (иначе говоря, чем больше ее КНД), тем точнее возможно определение направления на цель. В свою очередь ширина

луча антенны в какой-либо плоскости, выраженная в радианах, равна отношению длины волны к размеру антенны в этой плоскости. Другими словами, чем уже ширина луча, тем больше должен быть размер антенны при той же длине волны излучаемого сигнала.

Например, при длине волны  $\lambda = 1$  м ширину луча в  $5^\circ$  (примерно 0,1 радиан) в одной плоскости можно получить при размере антенны не менее  $\lambda/0,1 = 10$  м. При длине волны 1 см этот размер будет уже в 100 раз меньше, т.е. всего лишь 10 см.

Эти рассуждения приводят к известному в радиолокации выводу: высокая точность измерения угловых координат целей при приемлемых (реализуемых на практике) размерах антенн возможна при использовании дециметровых и более коротких длин волн. Следует отметить, что высокоточное измерение угловых координат целей возможно также и при использовании слабонаправленных антенн, которые, однако, должны быть разнесены на значительное расстояние друг от друга (такой метод измерения угловых координат основан на измерении разности фаз принимаемых колебаний в двух точках и называется интерферометрическим методом. Он применяется, как правило, в системах пассивной радиолокации).

Таким образом, в отличие от систем радиовещания и радиосвязи, в радиолокации антенны должны иметь ярко выраженные направленные свойства. Первая направленная антенна была использована еще Г. Герцем в его опытах в 1888 г. Это была зеркальная антенна, в которой формирование узкого луча производится в результате отражения электромагнитных волн от металлической поверхности (зеркала) называемого рефлектором (рис. 1.4). Облучатель (излучающая антенна) находится в фокусе зеркала, имеющего форму параболоида, отсюда второе название зеркальной антенны — антенна параболического типа.

Принцип действия зеркальных антенн можно сравнить с работой обычного фонарика. Излучателю электромагнитных волн (облучателю зеркала) в фонарике соответствует лампочка (или светодиод), излучающая свет во всех направлениях с одинаковой интенсивностью. Зеркальный рефлектор в форме параболоида отражает свет в определенном направлении, формируя узкий световой луч с высокой интенсивностью светового потока. Чем больше диаметр зеркального рефлектора — тем уже световой луч.



**Рис. 1.4.** Зеркальные антенны:  
*а* — 1930-е гг.; *б* — современная антенна

Создание зеркальной антенны возможно для относительно небольших длин волн (дециметры и менее). На метровых и более длинных волнах, когда требуются большие размеры антенн для формирования направленного излучения, создание зеркальной антенны становится весьма проблематичным или практически невозможным.

Направленные свойства излучения радиоволн можно придать не только с помощью зеркальных антенн, но и путем выбора определенной конструкции антенны, что становится весьма актуальным для более длинных волн (метровых и более).

Одной из первых антенн такого типа с ярко выраженными направленными свойствами является изобретенная в 1926 г. в Японии антенна Яги-Уда (рис. 1.5), получившая свое название в честь ее изобретателей — Хидецугу Яги и Синатро Уда. Этот вид антенн называют также «волновой канал», антенны Уда-Яги или просто Яги.



Рис. 1.5. Японский ученый Хидецугу Яги (1886–1976) и его антенна

Антенна Яги-Уда проста по конструкции, но при этом обладает высокой эффективностью. Такие качества привели к тому, что эта конструкция до сих пор используется в разных типах антенн, применяемых в диапазонах коротких и ультракоротких волн.

Благодаря своей простоте антенна Яги-Уда получила широкое распространение во многих радарх противозвоздушной обороны, работавших в метровом и дециметровом диапазонах волн и построенных до начала и во время Второй мировой войны. Радары послевоенных лет, работавшие в диапазоне метровых волн, также использовали подобные антенны.

Антенны первых радаров, построенных в 30-е гг. прошлого столетия, имели достаточно высокий КНД, который, в зависимости от рабочей длины волны и размеров антенны, принимал значения порядка 25–40 дБ.

#### *Устройства генерирования радиосигналов*

Устройства генерирования радиосигналов или передатчики обусловлены своим появлением благодаря развитию систем радиосвязи и радиовещания в начале XX в. Революционным событием в этом направлении стало изобретение в 1913 г. лампового передатчика сотрудником немецкой фирмы Telefunken А. Мейсснера (A. Meissner, 1883–1958).

Схема А. Мейсснера была основана на использовании электровакуумной лампы типа триод с подключением колебательного контура для стабилизации частоты генерируемых колебаний. Стоит отметить, что эта схема остается актуальной и в настоящее время и используется при построении простейших передатчиков при замене триода на полупроводниковые приборы.

В последующие годы схемы передатчиков совершенствовались, появлялись более мощные триоды, способные генерировать колебания мощностью до нескольких десятков кВт в диапазоне длинных волн. Для задач радиосвязи и радиовещания этого было вполне достаточно.

В радиолокации, как уже отмечалось выше, требовалось использовать более короткие волны — метровые, а лучше дециметровые и сантиметровые. Однако с уменьшением длины волны генерируемых колебаний мощность излучения триодных генераторов резко падала. Решение проблемы сводилось к разработке новых генераторных устройств, способных генерировать



высокочастотные колебания большой мощности. Таким прибором стал магнетрон.

Действующие магнетронные генераторы радиоволн были созданы независимо и почти одновременно в трех странах: в Чехословакии (А. Жачек, 1924 г.), в СССР (А.А. Слуцкий и Д.С. Штейнберг, 1925 г.), в Японии (К. Окабе и Х. Яги, 1927 г.). Это были однорезонаторные магнетроны, излучаемая мощность которых составляла единицы Ватт и для решения радиолокационных задач, требующих мощности излучения в десятки киловатт, была явно недостаточной.

В последующие предвоенные годы конструкции магнетронов совершенствовались: появились многорезонаторные магнетроны с увеличенной мощностью излучения, повышалась стабильность частоты, уменьшались длины волн излучаемых колебаний, которые составляли единицы сантиметров. Наиболее известная и распространенная конструкция многорезонаторного магнетрона разработана учеными Великобритании (Дж. Рэндолл, Г. Бут и Дж. Сэйерс) в 1940 г. Им удалось добиться устойчивой генерации многорезонаторными магнетронами значительных импульсных мощностей в 10- и 3-сантиметровых диапазонах длин волн. Магнетроны такой конструкции и их модификации использовались в радарх Великобритании, США и Германии.

В СССР первый образец многорезонаторного магнетрона с цельным медным анодом был разработан инженерами Н.Ф. Алексеевым и Д.Е. Маляровым в 1937 г., хотя публикация на эту тему появилась лишь в 1940 г. При этом был получен рекордный по тому времени уровень мощности (до 300 Вт в непрерывном режиме) на длине волны 9 см при коэффициенте полезного действия в 20%. Однако, по ряду как объективных, так и субъективных причин до промышленной конструкции этот образец не дошел. Советский и английский магнетроны имеют весьма схожую конструкцию, поэтому споры о первенстве этого изобретения продолжаются до сих пор.

### *Методы обнаружения сигналов и измерения их параметров*

Принципы действия всех радаров основаны на способности обнаружения отраженных от цели сигналов и измерения их параметров, обеспечивающих определение координат цели

и параметров ее движения. Поэтому, кроме устройств генерирования, излучения и приема радиосигналов необходимы были опробованные на практике соответствующие методы и устройства обработки сигналов, обеспечивающие возможность измерения дальности до объектов.

Предвестниками таких методов, подтвердивших возможность применения радиоволн для измерения расстояния до наблюдаемых объектов, стали работы по измерению высоты ионосферных слоев над поверхностью Земли. Первые результативные работы в этом направлении были выполнены в 1925 г. Э.В. Эпплтоном в Великобритании и в 1926 г. Г. Брейтом и М. Тьювом в США.

Э.В. Эпплтон использовал непрерывные сигналы с линейной частотной модуляцией — сигналы, несущая частота которых периодически изменяется от минимального до максимального значения в пределах единиц процентов. Определение запаздывания во времени закона модуляции отраженного от ионосферы сигнала относительно прямого сигнала (т.е. сигнала, распространявшегося по прямому пути между передатчиком и приемником), позволяло вычислить высоту ионосферы.

Г. Брейт и М. Тьюв использовали импульсные сигналы, для которых время запаздывания отраженного сигнала относительно зондирующего измерялось по их амплитуде, или, как говорят, по огибающей. В обоих методах — с непрерывными и импульсными сигналами, удвоенное расстояние до объекта лоцирования определялось как произведение скорости света на измеренное время запаздывания.

Работы Э.В. Эпплтона, Г. Брейта и М. Тьюва были опубликованы, стали известны специалистам и оказали большое влияние на работы по созданию радиолокационных систем в последующие годы.

Таким образом, к концу 20-х, началу 30-х гг. прошлого века уже имелись научно-технические предпосылки для создания действующих макетов радаров. К этому времени сформировались также и **военно-политические предпосылки** для создания систем противовоздушной обороны, в которой, как вскоре выяснилось, радары стали основным средством. К такому выводу постепенно пришли ученые, военные и политики ряда стран, но путь к пониманию необходимости развития радиолокации, требующего больших материальных, людских и организационных ресурсов, был не простым. Чтобы проследить этот путь

и понять все трудности начального этапа развития радиолокации, необходимо рассмотреть задачи обеспечения противовоздушной обороны, остро вставшие перед военными начальниками многих стран.

Уже во время Первой мировой войны проявились возможности авиации, как внезапного, быстрого и весьма эффективного средства уничтожения живой силы и техники противника. Подбить самолет в воздухе оказалось весьма непростой задачей. Даже при использовании специальных орудий с высоким углом подъема ствола вероятность попадания в самолет была очень низкой. Причинами этого являлись большая дальность воздушных целей, сложность прицеливания в пространстве (в отличие от наземных или надводных целей) и высокая скорость самолетов, требующая определения точки упреждения (точки предполагаемой встречи снаряда с целью). Достаточно сказать, что во время Первой мировой войны в среднем на один подбитый самолет приходилось расходовать более 10 000 снарядов (в различных источниках встречаются значения от 10 000 до 20 000 снарядов). Забегая вперед, отметим, что при использовании радаров во время Второй мировой войны этот показатель — среднее число снарядов на один подбитый самолет, уменьшилось до нескольких сотен единиц.

Стало очевидно, что для борьбы с авиацией необходимо создание специальных подразделений, оснащенных соответствующей техникой. Таким подразделением в СССР стала служба противовоздушной обороны (ПВО), созданная в 1928 г. В ее состав входила служба воздушного наблюдения, оповещения и связи (ВНОС), основу которой составляли посты наблюдения, располагавшиеся неподалеку от крупных охраняемых объектов (городов, промышленных предприятий, мостов, переправ и др.). В случае обнаружения воздушного противника посты службы ВНОС подавали команду «Воздух», которая передавалась по линиям телефонной связи на командные пункты управления.

В системе ПВО существовало два направления борьбы с авиацией:

- 1) использование самолетов, предназначенных для уничтожения самолетов противника — истребительная авиация (ИА);
- 2) использование огнестрельного оружия, прежде всего, зенитной артиллерии (ЗА) для поражения самолетов.

Эффективность использования ИА зависела, во-первых, от способности обнаружения самолетов противника на дальних расстояниях (не менее 50 км, что соответствовало времени полета порядка 10–15 мин), и, во-вторых, от точности определения местоположения самолетов противника — дальности, направления, высоты полета, необходимой для правильного наведения самолетов ИА.

Зенитная артиллерия предназначена для уничтожения самолетов противника с наземных позиций на небольших дистанциях, порядка нескольких километров и, в отличие от обычной артиллерии, имеет ряд особенностей:

- 1) возможность стрельбы под большим углом относительно горизонта (порядка  $70^\circ$  и более);
- 2) возможность управления моментом разрыва снаряда в воздухе для поражения самолета на определенной дальности;
- 3) необходимость наведения ствола орудия в точку упреждения;
- 4) использование шрапнельных снарядов, создающих при разрыве множество осколков, способных поразить цель на большом радиусе от точки разрыва снаряда;
- 5) высокая скорострельность — несколько десятков выстрелов в минуту.

Управление моментом разрыва снаряда в воздухе осуществлялось путем поворота специального кольца снаряда на определенный угол, определяющий время срабатывания взрывателя. Для расчета точки упреждения использовался прибор управления артиллерийским зенитным огнем (ПУАЗО) — совокупность приборов и устройств, предназначенных для определения и передачи на орудия данных (азимут, угол места, высота и скорость полета цели) для стрельбы по воздушным целям. Здесь следует сказать, что для прицельного поражения воздушных целей с помощью зенитной артиллерии необходимая точность измерения координат цели должна быть не хуже нескольких десятков метров по дальности и не более  $1^\circ$  по азимуту и углу места.

Кроме прицельной стрельбы по воздушным целям ЗА вместе с другими видами стрелкового оружия открывала также заградительный огонь, препятствующий пролету самолетов над определенными территориями или объектами.

Как видно, успешное решение задач ПВО в значительной степени зависело от способности обнаружения воздушных объектов на большой (для ИА) и малых (для ЗА) дистанциях при достаточно точном измерении координат и скорости цели. Разработкой устройств обнаружения и измерения координат самолетов начали заниматься сразу после окончания Первой мировой войны в разных странах.

Первыми устройствами такого назначения были оптические приборы: бинокли, оптические визиры и дальномеры. Обладая высокой точностью определения угловых координат местоположения самолетов, эти приборы имели существенные недостатки: ими нельзя было пользоваться ночью и при неблагоприятных метеорологических условиях (в туман, дождь, снегопад, облачность), а также трудно было обнаруживать самолеты из-за ограниченного поля зрения. Кроме того, дальность действия оптических приборов даже в хорошую погоду была ограниченной.

Обнаружение самолета в условиях отсутствия видимости ночью или при плохой погоде оказалось возможным благодаря использованию звукоулавливателей (рис. 1.6, а). Совмещение звукоулавливателей с мощными прожекторами (рис. 1.6, б), освещавшими самолет ночью, привели к созданию довольно эффективной системы «Прожзвук», находившейся на вооружении Красной Армии с начала 30-х гг. прошлого столетия. Системы «Прожзвук» и различные ее модификации успешно применялись Красной Армией во время Второй мировой войны. Их максимальная дальность действия доходила до 9 км при точности определения направления порядка 3–5°. Однако эти параметры существенно зависели от состояния погоды, силы ветра и опыта операторов.

Другой способ обнаружения самолета основан на регистрации его теплового излучения. Исследования в этом направлении в СССР привели к созданию экспериментальных образцов теплообнаружителей в 1932–1934 гг. (рис. 1.7).

Испытания теплообнаружителей позволили установить, что:

- 1) дальность обнаружения многомоторного бомбардировщика, составляет 10–12 км;
- 2) обнаружение и пеленгация возможны только ночью и то на фоне безоблачного неба;
- 3) при сплошной облачности обнаружение самолета, летящего в облаках или выше их, оказалось невозможным.

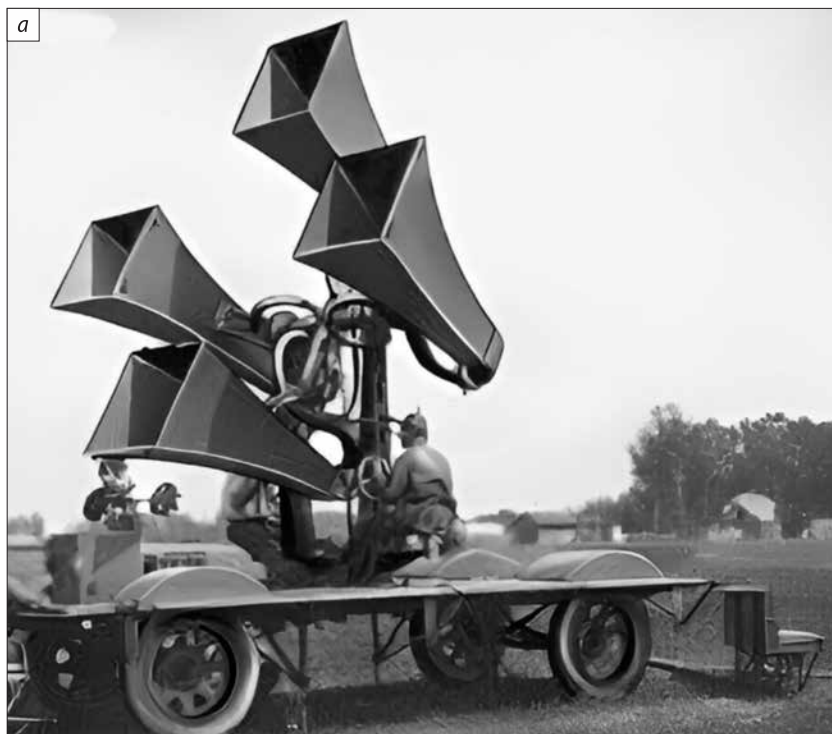
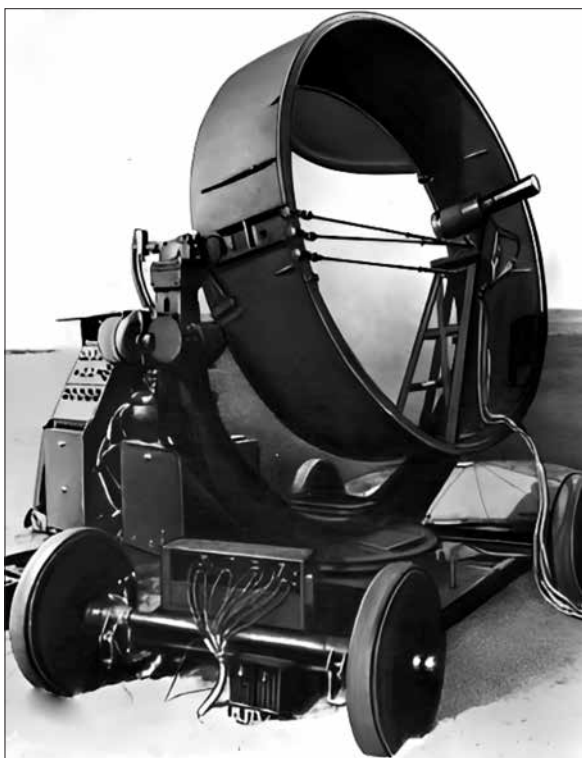


Рис. 1.6. Звукоулавливатель ЗТ-2 (а) и прожектор освещения самолета (б)

Выявленные недостатки теплового метода обнаружения имели принципиальный характер и были настолько серьезны, что данный метод для обнаружения самолетов был признан неперспективным.

По сравнению с Первой мировой войной авиация к началу 1930-х гг. сделала большой шаг вперед: существенно увеличилась скорость самолетов и высота их полета, на самолетах стали устанавливать эффективное вооружение, появились самолеты разных классов (бомбардировщики, истребители, разведчики, штурмовики), совершенствовалась тактика применения авиации. При этом средства обнаружения самолетов изменились не так значительно. Военные начальники и государственные руководители понимали, что для обороны страны нужны более эффективные средства обнаружения авиации.



**Рис. 1.7.** Теплообнаружитель-пеленгатор с диаметром зеркала 150 см

Ненадежность и неперспективность акустических средств обнаружения самолетов становились все более и более ясными военным специалистам. Они понимали, какая диспропорция образовалась между возможностями бомбардировочной авиации вероятного противника наносить удары и возможностями ПВО эффективно отражать эти удары.

Анализ боевых средств ПВО и вооружения показывал, что основная причина создавшейся диспропорции вытекала не из тактико-технических свойств ИА и ЗА, а из-за того, что они не располагали надлежащими средствами воздушной разведки, которые позволяли бы заблаговременно обнаруживать самолеты противника и наводить на них самолеты-истребители и огонь зенитных батарей.

Многочисленные консультации военных с учеными, эксперименты по радиообнаружению, наконец, энтузиазм отдельных личностей (военных, инженеров, изобретателей) привели к идеям радиолокации, научно-технические и военно-политические предпосылки которой зародились уже в начале 1930-х гг.

Для развития радиолокации и создания первых образцов РЛС оставался один шаг — решение о финансировании соответствующих работ на государственном уровне. И такое решение было принято во многих странах Европы и в США.