

Передающие антенны станции СН

Часть 2

БИТВА ЗА БРИТАНИЮ

ИМПУЛЬСНАЯ РЛС МОДЕЛИ ХАФ

Радиолокатор с использованием импульсного метода был разработан в авиационной лаборатории ВМФ США, там же изготовлен. В его состав входили следующие узлы:

- ✓ импульсный передатчик, частота несущей которого была выбрана 60 МГц, мощность излучения в импульсе оценивалась величиной 100–200 Вт;
- ✓ передающая антенна — одиночный настроенный отражатель;
- ✓ приемная антенна (аналогичная передающей);
- ✓ специальный радиолокационный приемник эхо-импульса;
- ✓ индикатор для отображения выходных сигналов эхо-импульса, выполненный на электронно-лучевой трубке.

Радиолокация предъявила к приемнику эхо-сигнала жесткие требования:

- ✓ поскольку приемник располагался рядом с передатчиком, он испытывал большие перегрузки, а было необходимо, чтобы его чувствительность восстанавливалась всего за несколько микросекунд;
- ✓ приемник должен был обладать быстрой реакцией при усилении эхо-импульсов.

Разработчики выполнили эти требования, используя супергетеродинный приемник и ограничив коэффициент усиления по напряжению на любой частоте величиной 1000. Кроме того, с особой тщательностью были отработаны экранировка и фильтрация.

Во время натурных испытаний радиолокатора в апреле 1936 г. дальность обнаружения движущихся объектов достигала 40 километров.

Главной целью этой разработки являлось уменьшение размеров оборудования настолько, чтобы его можно было использовать на военных судах. Для этого необходимо было перейти на более высокие частоты и уменьшить размеры антенн. Это было сделано, и в июле того же года была передана в эксплуатацию небольшая радиолокационная станция (РЛС), работаю-

(Продолжение. Начало см. в № 6 2016 г. «Науки и Техники»)

щая на частоте 200 МГц. Тогда же успешно закончились испытания радиолокационного антенного переключателя также для частоты 200 МГц. Это позволило передатчику и приемнику работать с общей антенной.

В апреле 1937 г. эта экспериментальная РЛС была установлена на борту эсминца «Лири» и успешно прошла испытания. Затем последовала разработка более мощной модели ХАФ, специально предназначавшейся для установки на кораблях ВМФ. На рис. 1 показана антенна РЛС ХАФ, установленная на борту линкора «Нью-Йорк». Эта антенна имела площадь всего 17 квадратных футов (1,58 квадратного метра). РЛС ХАФ обнаруживала самолет на расстоянии до 100 морских

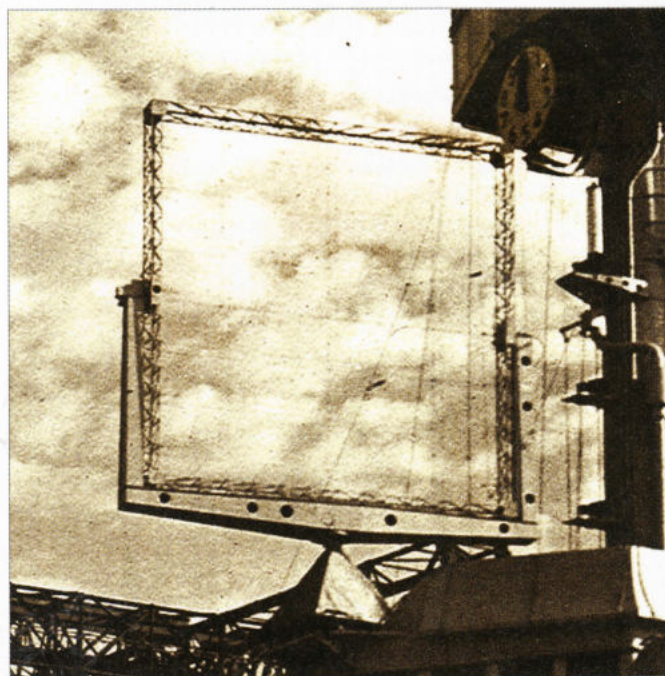


Рис. 1. Антенна РЛС ХАФ

миль (185 километров) и корабль — до 15 морских миль (28 километров). Позднее, в 1939 г. РЛС XAF послужила прототипом для модели CXAM, которая была установлена на 19 военных кораблях. Как раз тогда американские военные изобрели слово «радар»; это аббревиатура Radio Detection And Ranging (обнаружение и оценка дальности с помощью радио).

ДЕТЕКТОРЫ ПРЕПЯТСТВИЙ ДОКТОРА ЖИРАРДО

Первое коммерческое применение радиолокация получила во Франции. Приступая в 1934 г. к исследованиям по обнаружению препятствий с помощью радиоволн, доктор Эмиль Жирардо и его сотрудники в фирме Societe Francaise Radioelectrique думали о спасении потерпевших кораблекрушение. В результате их работы на трансатлантическом лайнере «Нормандия» в 1935 г. был установлен детектор препятствий, в котором использовались импульсные магнетроны, работающие в дециметровом диапазоне волн. В 1936 г. в порту Гавра был установлен радиопрожектор для обнаружения судов, входящих в гавань и покидающих ее.

В 1939 г. группа Жирардо смонтировала первую во Франции станцию радарного наблюдения за воздушным пространством, предупреждающую парижан о воздушных налетах. В июне 1940 г., перед самым падением Парижа, французы уничтожили свою аппаратуру, чтобы она не досталась врагу.

АНГЛИЙСКИЕ РЛС ДАЛЬНОГО ОБНАРУЖЕНИЯ САМОЛЕТОВ

В Англии в самом начале 1935 г. организатором разработки радиолокационного оборудования для обнаружения самолетов стал суперинтендант отдела радио Национальной физической лаборатории (г. Теддингтон) Роберт Александр Уотсон-Уатт (кстати, прямой потомок изобретателя паровой машины Джеймса Уатта и впоследствии сэр Роберт), который

в начале своей карьеры был преподавателем физики в колледже Данди (г. Данди) университета Сент-Эндрюс (Шотландия).

В мае этого же года Министерство авиации Великобритании построило на берегу Северного моря лабораторию, где Уотсон-Уатт и его сотрудники начали проводить испытания радиолокационной станции импульсного действия, разработанной и изготовленной ими в очень короткие сроки. 17 июня Уотсон-Уатт и его коллеги Арнольд Уилкинс и Эдвард Боуэн с помощью этой радиолокационной станции засекли гидросамолет, пролетавший в 27 километрах от них. В ходе дальнейших испытаний радиус обнаружения движущегося объекта увеличился до 65 километров.

Впервые радиолокационные станции в Англии начали работать с декабря 1935 г., когда на юго-восточном побережье были установлены пять импульсных станций дальнего обнаружения самолетов CH (Chain Home), чтобы защитить устье Темзы и Лондон. В августе 1937 г. количество этих станций увеличилось до двадцати, и с этого времени на восточном побережье Англии стала работать сеть станций защиты от воздушного нападения. Эти станции, обнаруживавшие самолеты на расстоянии до 320 км, имели следующие технические характеристики: диапазон волн 10–13 м, длительность импульса 10–15 мкс, частота повторения импульсов 25 Гц. Мощность в импульсе вначале была 200 кВт, в дальнейшем ее повысили до 800 кВт. Так как передатчик станции работал только 250 мкс в секунду, то средняя мощность его не превышала 250 Вт.

Антенны станций были весьма громоздки (рис. 2). Передающая антенная система CH представляла собой группу горизонтальных вибраторов и рефлекторов, подвешенных на четырех (позже трех) металлических мачтах высотой 350 футов (107 метров), расположенных в одну линию. Эта антенная система устанавливалась неподвижно и имела широко направленное излучение. Таким образом, станция обнаруживала любой само-

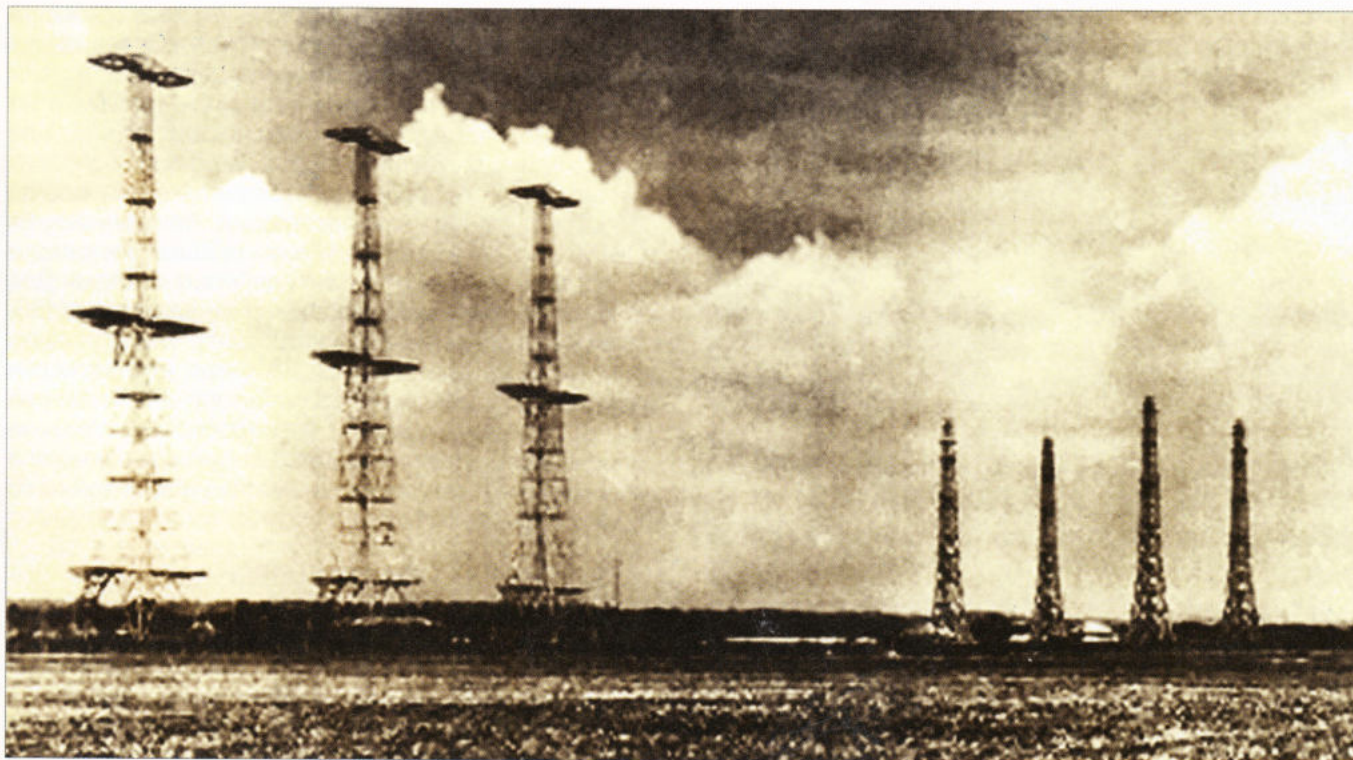


Рис. 2. Антенны станции CH

лет, попавший в облучаемую ею зону. Использование рефлекторов в многовibratorной антенне позволило иметь в ней одностороннюю диаграмму направленности и увеличенный коэффициент усиления антенны. На рис. 3 показан передатчик станции СН, который сейчас демонстрируется в музее радиолокации Королевских военно-воздушных сил в Хорнинге, графство Норфолк, на востоке Англии.

Приемная антенная система состояла из двух скрещенных вибраторов для определения азимута (пеленга) цели и двух вибраторов на разных высотах для определения углов места. Приемные антенны подвешивались на четырех деревянных мачтах высотой 240 футов (73 метра).

Как известно, при использовании для определения пеленга скрещенных антенн информация о нем содержится в амплитудах электродвижущей силы (э.д.с.), индуцированных в антеннах. Э.д.с. передаются на обмотки гониометра, который представляет собой систему из двух взаимно перпендикулярных неподвижных полевых катушек (статорных), внутри которых расположена подвижная искательная катушка: выход этой катушки был подключен к приемнику. Результирующее магнитное поле в гониометре равняется сумме магнитных полей обеих полевых катушек и, в свою очередь, индуцирует э.д.с. в искательной катушке. Вращали искательную катушку (вручную или через специальную систему управления) до тех пор, пока она не занимала такое положение, при котором сигнал на выходе приемника становился минимальным. Это положение искательной катушки дает непосредственный отсчет пеленга.

Известен воздушный гониометр, катушки которого намотаны на каркасе из изоляционного материала. Коэффициент связи между полевыми и искательной катушками ограничивается величиной 0,4–0,5. С целью увеличения этого коэффициента связи до величины 0,7–0,95 применяют гониометры с ферромагнитными сердечниками. На рис. 4 показан такой гониометр, где 1, 2 — полевые катушки, 3 — искательная катушка.

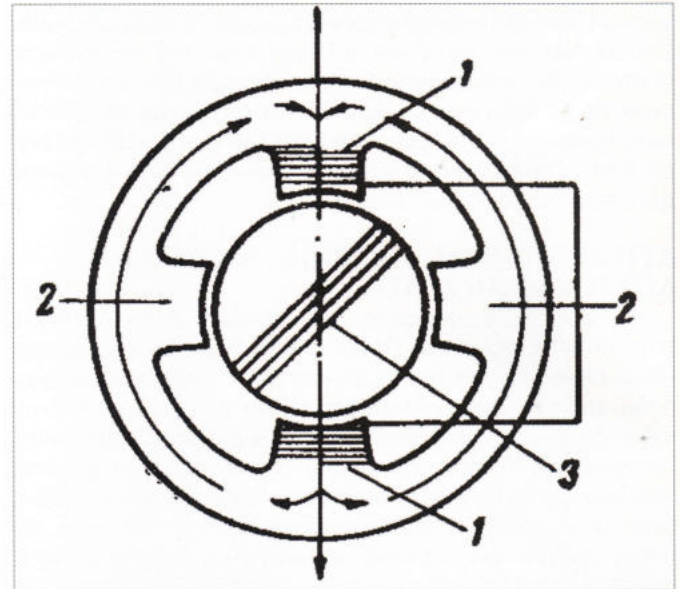


Рис. 4. Гониометр с ферромагнитным сердечником

Точность определения азимута цели — 2° .

Для определения угла места самолета на станции измеряли угол места падающей волны (отраженного импульса). Для этого служили, как было уже сказано, два горизонтальных вибратора, подвешенных на разной высоте над землей. В способе, которым проводилось это измерение угла места, использовалось влияние земли на диаграмму направленности антенны. Чем ниже расположена антенна, тем сильнее влияет земля, тем выше приподнимается диаграмма направленности антенны. Анализатор сигналов поочередно принимал сигналы от обеих антенн. Так как диаграмма направленности верхней антенны располагается под диаграммой направленности нижней антенны, то при изменении высоты полета самолета, например, при ее увеличении, самолет «переходит» из диаграммы направленности верхней антенны в диаграмму нижней или же при потере высоты — наоборот. Происходит изменение принимаемых сигналов. Сравнение амплитуд отраженных импульсов анализатором сигналов позволяет определить угол места цели. Затем, используя этот результат, а также данные о наклонной дальности до цели, при помощи таблицы или графика можно определить высоту самолета.

Недостатки станций типа СН были известны еще до того, как эти станции были построены. Боковые лепестки излучения вызывали отражения от холмов и самолетов, летящих вне рабочей зоны действия станции. Для проверки правильности работы станции требовалась частая калибровка ее подсистем. Было также установлено, что при высоте антенн 73 метра низколетящие самолеты будут обнаруживаться только на близком расстоянии. Следует отметить: разработка, изготовление и ввод в эксплуатацию станций СН были выполнены в очень короткий срок, что объясняется угрозой войны со стороны нацистской Германии.

НЕМЕЦКИЕ РАДИОЛОКАТОРЫ SEETAKT, FREYA, WURZBURG

В 1928 г. доктор Ганс Хольцман, Ганс-Карл фон Виллисен и Пауль-Гюнтер Эбшлох (Германия) организовали небольшую частную компанию GEMA (Gesellschaft für Elektroakustische und Mechanische Apparate). Своей главной задачей они поставили создание радиолокационного устройства для обнаружения ко-



Рис. 3. Передатчик станции СН

раблей в море при плохой видимости. За поддержкой GEMA обратилась в концерн Telefunken, считавшийся главным производителем германской электроники, но не получила ее. В концерне посчитали, что эта идея представляет собой «чистую научную фантастику». Тем не менее GEMA продолжила работу и осенью 1934 г. продемонстрировала свой первый радиолокатор, который мог обнаружить корабль на дистанции до десяти километров, однако ни расстояния до него, ни точного направления прибор не показывал. Результаты испытаний заинтересовали руководство ВМФ Германии, и оно заказало GEMA разработку нового импульсного радиолокатора.

В первой половине 1935 г. такой радиолокатор был разработан и изготовлен GEMA. Комплекс, работающий на 50-сантиметровой волне, впоследствии известный как Seetakt, на испытаниях обнаруживал крейсер «Кенигсберг» на дистанции до восьми километров и определял расстояние до него с точностью 50 метров. Этого было вполне достаточно для навигации при плохой видимости и для наведения орудий.

В начале Второй мировой войны радиолокаторы Seetakt в их улучшенном варианте стали основными радиолокаторами крупных военных кораблей германского флота. Эти радары имели следующие характеристики:

- ✓ максимальная дальность обнаружения корабля — цели при любой погоде до 35 км;
- ✓ ошибка дистанции — 50–70 м;
- ✓ точность определения пеленга $\pm 3^\circ$;
- ✓ длина волны 71 и 81,5 см;
- ✓ мощность излучения в импульсе — 8 кВт;
- ✓ частота повторения зондирующих импульсов — 500 Гц.

Антенна радиолокатора Seetakt «матрасного типа» размером 6 x 3 метра с отдельными массивами излучения и приема закреплялась неподвижно на башенке директора управления огнем главного калибра корабля и вращалась вместе с башенкой (рис. 5).

В ходе войны появились более совершенные образцы этого локатора.

Проводя эксперименты с радиолокатором Seetakt, инженеры GEMA обнаружили, что он может засекать не только корабли, но и самолеты. Было установлено, что двухмоторный бомбардировщик обнаруживается радиолокатором на расстоянии 28 километров. На основании этих опытов инженеры GEMA решили разработать новый радиолокатор, специально предназначенный для обнаружения летящих самолетов. Так, в 1938 г. появился радиолокатор Freya, который так называли в честь Фрейи, богини любви и войны в германско-скандинавской мифологии.

До и в течение Второй мировой войны радиолокатор Freya модернизировался несколько раз. Одна из таких модификаций показана на рис. 6. Отличительной особенностью этих радиолокаторов является большая антенна (7,5 x 4,2 метра), состоящая из трех рядов по шесть вибраторов

в каждом. Нижний ряд — передающая антенна, средний ряд — приемная антенна, верхний ряд — антенна устройства идентификации «друг — враг» (identification friend or foe — IFF). Антенная система устанавливается над кабиной радиолокатора, смонтированной на вращающемся основании, подобном лафету 88-мм зенитного орудия. В кабине размещена аппаратура и находится расчет.

Радиолокатор Freya имеет следующие тактико-технические характеристики:

- ✓ назначение — обнаружение самолетов;
- ✓ максимальная дальность действия — 150 км;
- ✓ определение координат — дальность и азимут (высоту полета радиолокатор не определяет);
- ✓ точность работы по азимуту $\pm 0,25^\circ$; точность работы по дальности $\pm 0,5$ км (на расстоянии до 100 км);
- ✓ рабочие диапазоны 1,2–1,9 м, 1,9–2,5 м, 2,4–4 м;
- ✓ частота повторения зондирующих импульсов — 500 Гц.

Функционирование радиолокатора Freya в диапазоне волн длиной 1,2–1,9 метра было его главным преимуществом по отношению к британской радиолокационной станции РЛС. «Chain Home», работавшей в диапазоне волн длиной 10–12 метров. Радиолокатор Freya мог обнаруживать летательные аппараты гораздо меньших размеров (такие как истребители) и определял их положение с гораздо большей точностью.

В отличие от монументальных британских РЛС, радиолокатор Freya перевозился в полностью собранном виде на обычном трейлере и сразу же устанавливался в нужном месте. Недостатком этого радиолокатора являлось то, что он не мог эффективно определять высоту цели. Как было сказано ранее, британская РЛС Chain Home решала эту проблему при помощи двух комплектов принимающих антенн, расположенных на разной высоте; по разнице амплитуд принимаемого этими антеннами отраженного от цели радиолокационного сигнала определялась высота полета цели. В попытке решить эту проблему немцы двигали антенну радиолокатора вверх-вниз, таким образом определяя приблизи-



Рис. 5. Антенна радиолокатора Seetakt на башенке управления огнем линкора «Адмирал граф Шпее»

тельно высоту полета цели. К началу Второй мировой войны в Германии действовали восемь радиолокаторов Freya, прикрывавшие отдельные объекты.

Как уже было сказано выше, первоначально концерн Telefunken не заинтересовался идеями радиолокации. Однако уже в 1935 г. под влиянием успешной деятельности фирмы GEMA он пересмотрел свои взгляды и инициировал экстренную программу.

Telefunken сконцентрировал свои усилия на создании радиолокатора для эффективного наведения на цель зенитных орудий, т. е. радиолокатора меньшего радиуса действия, но очень высокой точности. В июле 1939 г. работы по созданию станции орудийного наведения, которую назвали Wurzburg, увенчались первым успехом. За счет применения параболической антенны диаметром около трех метров и работе на очень коротких (для того времени) 50-сантиметровых волнах точность этой станции составила порядка 25 метров на дистанции 29 километров. В 1940 г. эта станция орудийного наведения была запущена в серийное производство.

СОВЕТСКИЕ РАДИОЛОКАТОРЫ РУС-1, РУС-2

В СССР в 1933 г. представители двух ведомств — Главного артиллерийского управления, ГАУ (Михаил Михайлович Лобанов) и Управления противовоздушной обороны, УПВО (Павел Кондратьевич Ощепков), обратились в научно-исследовательские центры страны с просьбой заняться проблемой обнаружения самолетов с помощью радиоволн. Военные представители пошли разными путями. Лобанов обратился непосредственно в промышленность, в Центральную радиолaborаторию (ЦРЛ) бывшего «Треста заводов слабого тока» (Ленинград), имевшую сильную производственную базу. Ощепков действовал через президента АН СССР и в конечном итоге был направлен в Ленинградский физико-технический институт (ЛФТИ) к его директору академику Абраму Федоровичу Иоффе.

В конце 1933 г. в ЦРЛ Ю. К. Коровин и С. Н. Савин, используя макет передающей и приемной аппаратуры на волне 50 сантиметров, провели наблюдения отра-

женных от летящего самолета радиоволн; дальность обнаружения составила 600–700 метров. В опытах применялись незатухающие непрерывные колебания дециметрового диапазона волн, параболические антенны у передатчика и приемника. Прием велся на слух.

Стремясь расширить фронт работ, Лобанов обратился в Ленинградский электрофизический институт (ЛЭФИ), где и были развернуты работы по радиообнаружению самолетов, руководство которыми было поручено начальнику радиосектора института Борису Константиновичу Шембелю.

В июле-августе 1934 г. в ЛЭФИ были проведены испытания экспериментального макета разнесенной системы активной радиолокации на базе 50–70 килдметров. Передающий пункт этой системы излучал непрерывные колебания на волне 4 метра. Факт пролета самолета надежно регистрировался на высоте полета 5–6 километров на дальности более 3 километров от приемного пункта. Самолеты при наблюдениях ЦРЛ и ЛЭФИ обнаруживались приемной антенной по появлению в телефоне характерных биений, обусловленных интерференцией непрерывных колебаний, излучаемых передатчиком, и колебаний, отраженных от самолета. После этих первых экспериментов стали очевидными возможные методы обнаружения самолетов: метод непрерывного облучения с использованием эффекта Доплера и импульсный метод, который необходимо было еще разрабатывать.

Ощепков и живо откликнувшийся на всякую свежую мысль Иоффе считали, что на импульсный метод следует обратить большое внимание. В это время в УПВО уже функционировала специальная и довольно хорошо оснащенная лаборатория, возглавляемая Ощепковым. Он решил разрабатывать импульсную радиолокационную установку своими силами с помощью ЛФТИ и убедил Иоффе организовать специальную лабораторию, которая наряду с другими задачами занялась бы и импульсным методом. Руководителем этой лаборатории, начавшей работать с 1 апреля 1935 г., стал профессор физико-механического факультета Ленинградского индустриального института Дмитрий Апполинариевич Рожанский. В июле 1935 г. в ее состав вошел молодой доцент — Юрий Кобзарев.

При распределении работ между этими лабораториями было решено, что лаборатория УПВО разработает генератор импульсов на волне 3,5–4 метра (импульсная мощность 100 кВт), а лаборатория ЛФТИ — приемо-индикаторное устройство; был определен срок выполнения работ — конец 1936 г. Незадолго до окончания разработки приемо-индикатора скончался Рожанский. Лаборатория понесла тяжелую утрату, но темпы работы не замедлились и приемо-индикаторное устройство с электронно-лучевым индикатором к концу 1936 г. было готово. Однако генератор мощных импульсов еще не работал. Несмотря на это, весной 1937 г. на полигоне УПВО была развернута действующая импульсная радиолокационная установка с генератором, дававшим в импульсе мощность всего около 1 кВт. Первые же испытания дали положительные результаты. Отраженные самолетом импульсы были зафиксированы с расстояний до 12 километров. По результатам этих испытаний планировалось усилиями лабораторий ЛФТИ и УПВО в конце 1937 г. провести испытания с установкой, развивающей мощность в импульсе 100 кВт. Однако сложилось по-другому.

В 1937 г. Ощепков был репрессирован по делу Тухачевского и приговорен к заключению. Его лаборатория

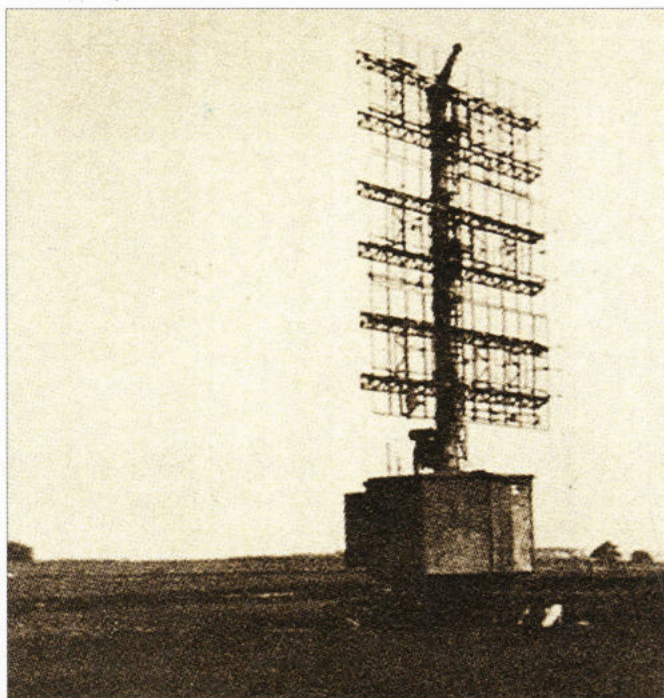


Рис. 6. Радиолокатор Freya

в УПВО была ликвидирована. В 1939 г. его освободили (временно), но больше он по созданию радиоуправляемых самолетов не работал.

Лаборатории ЛФТИ под руководством Кобзарева было предложено доводить создание импульсной радиолокационной установки до конца самим. К августу 1938 г. аппаратура была подготовлена к испытаниям с самолетами. Установка была размещена в Научно-испытательном исследовательском институте связи Красной Армии (НИИИСКА). Опыты прошли успешно. Эхо-сигналы были зарегистрированы при дальности до 55 километров. Все это позволило выдать промышленности задание на ОКР по созданию импульсного радиолокатора дальнего действия.

Как было сказано выше, полученные в ЦРЛ и ЛЭФИ результаты показали, что для обнаружения самолетов возможно использование метода их непрерывного облучения радиоволнами. В 1937 г. разработку макета и опытного образца такой станции взял на себя НИИИСКА. Работа над макетом велась под шифром «Ревень» группой инженеров под руководством военного инженера Д. С. Стогова. В марте 1938 г. была закончена разработка макета станции «Ревень». В качестве передающей была взята синфазная антенна, состоящая из четырех полуволновых вибраторов с фазирующим устройством, подвешенная горизонтально на мачтах высотой 4 метра. Ее характеристика в вертикальной плоскости не имела провалов, по форме была близка к полукругу, а в горизонтальной — имела раствор порядка 30° в двух противоположных направлениях, что позволяло иметь при помощи двух приемных устройств две зоны обнаружения. В том же направлении на расстоянии нескольких десятков километров было установлено устройство с антенной, направленной в сторону передатчика и также принимающее излучение, отраженное от самолета.

Принцип обнаружения самолетов такой станцией основан на использовании явления попеременного усиления и ослабления принимаемых сигналов при пересечении линии «передатчик — приёмник» рассеивающим радиоволны самолетом.

Причиной попеременного усиления и ослабления сигналов является наложение рассеянных волн, прошедших путь «передатчик — самолет — приемник», на волны, пришедшие к приемнику непосредственно от передатчика. При приближении самолета к линии «передатчик — приемник» разность длин обоих путей вначале быстро уменьшается, где-то вблизи этой линии она достигает минимума, а затем начинает увеличиваться. Период биений при приближении самолета увеличивается, в точке минимума разности путей частота биений проходит через ноль, а затем начинает возрастать.

Приемное устройство состояло из антенны направленного действия, приемника и устройства, регистрирующего принимаемые сигналы на ленте (ондулятора). Стоговым было предложено создавать несколько линий обнаружения самолетов, вдоль которых располагать передающие и приемные устройства станций «Ревень». Уже при двух линиях можно было определить, в каком направлении и на каком участке самолет пересекает рубеж. Испытания станции «Ревень» были проведены в июне-июле 1938 г. Их результаты превзошли все ожидания.

В 1939 г. на вооружение войск ПВО были приняты разнесенные радиолокаторы непрерывного излучения «Ревень», получившие впоследствии наименование РУС-1 (радиоуправляватель самолетов — 1) (рис. 7). К началу Второй мировой войны было изготовлено и раз-

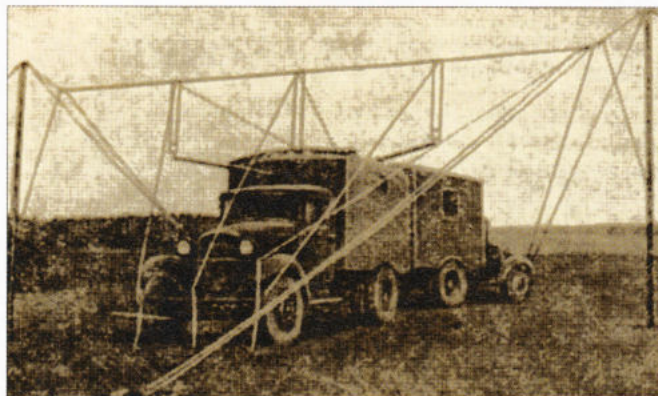


Рис. 7. Излучающая установка РУС-1

вернуто 45 комплектов этих радиолокаторов. Вслед за ними промышленность поставляет в войска импульсные радиолокаторы. Уже в 1940 г. в войска ПВО поступило 12 таких радиолокаторов типа РУС-2. Если первые станции РУС-2 имели отдельные приемную и передающую антенны, то в 1941 г. был принят на вооружение одноантенный вариант подвижной радиолокационной станции РУС-2 — «Редут» (рис. 8).

Что же касается развития радиолокации в Японии в 30-х гг. прошлого столетия и во время Второй мировой войны, то можно сказать, что Япония сильно отставала в этом направлении от своих противников. Фактически к моменту решающей битвы между японским и американским флотами за залив Лейте в Филиппинском море с 23 по 26 октября 1944 г. японские радиолокаторы были хуже английских и американских образцов 1941 г.

Таким образом, к началу Второй мировой войны все вышеперечисленные страны имели значительные результаты в создании радиолокаторов. Немцы считали, что их РЛС превосходны и не нуждаются в совершенствовании. Это была ошибка, которая стоила им поражения в битве за Британию. Но об этом, а также о том, какую роль в противостоянии сторон сыграл многорезонаторный магнетрон, — в окончании статьи.



Рис. 8. РЛС РУС-2