



Б. К. ШЕМБЕЛЬ

**У ИСТОКОВ
РАДИОЛОКАЦИИ
В СССР**

Б. К. ШЕМБЕЛЬ

**У ИСТОКОВ
РАДИОЛОКАЦИИ
В СССР**



МОСКВА «СОВЕТСКОЕ РАДИО» 1977

6Ф2.4
Ш 46
УДК 621.396.96

Шембель Б. К.

Ш 46 У истоков радиолокации в СССР. М., «Сов. радио», 1977.

80 с. с ил.

Описано возникновение и развитие первых разработок в области радиолокационной техники в 30-е годы. Автор, один из старейших советских радиоспециалистов, рассказывает о первой опытной аппаратуре для дальнего обнаружения самолетов и для ведения огня земной артиллерии, а также о результатах ее испытаний. Материал книги охватывает период 1934—1937 гг. и носит научно-исторический характер.

Ш 30402-034
046(01)-77 50-77

6Ф2.4

Редакция литературы по вопросам
космической радиоэлектроники

ИБ № 52

Борис Константинович Шембель
У ИСТОКОВ
РАДИОЛОКАЦИИ
В СССР

Редактор *И. М. Волкова*
Художественный редактор *А. П. Алгунин*
Обложка художника *Б. К. Шаповалова*
Технические редакторы *А. А. Егорова, Г. З. Кузнецова*
Корректор *Л. А. Максимова*

Славо в набор 5.10. 1976 г. Подписано в печать 8.2. 1977 г. Т-03049
Формат 84×109/16 Бюлгга машинославанная
Объем 4,2 усл. л. 4,755 луч.-над. л.
Тираж 21.870 экз. Зак. 837 Цена 16 коп.

Издательство «Советское радио», Москва, Главпочтамт, а/я 693

Московская типография № 10 «Союзполиграфпрома»
при Государственном Комитете Совета Министров СССР
по делам издательства, полиграфии и книжной торговли.
Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10.

© Издательство «Советское радио», 1977 г

ПРЕДИСЛОВИЕ

Предлагаемая вниманию читателя книга касается первых в СССР разработок в области техники, впоследствии получившей название радиолокации.

Ввиду большой важности этой тематики для обороны страны эти работы долгое время не публиковались и о них ничего не было известно широкой технической общественности. Только в 1962—1970 гг. появились первые публикации М. М. Лобанова, П. К. Ощепкова и П. Е. Хорошилова.

В публикациях М. М. Лобанова [1, 3] излагается история возникновения и развития радиолокации в СССР в предвоенные годы, даются основные характеристики проводившихся разработок, называются их участники, оценивается их деятельность. Книга П. К. Ощепкова [2] касается главным образом его личной деятельности в этой области как одного из инициаторов ее развития. Она не дает представления ни о технических средствах, с помощью которых были достигнуты приводимые результаты, ни о творческой деятельности людей, их разрабатывавших. В брошюре П. Е. Хорошилова [4] очень хорошо показано огромное и все нарастающее несоответствие возможностей тогдашних средств обнаружения самолетов прогрессу в их тактических данных и обоснована постановка работ по радиолокации как задачи государственной важности.

Не так давно появилась статья Ю. Б. Кобзарева [5]. Это первая публикация по истории радиолокации, принадлежащая перу одного из основоположников в СССР теории и техники импульсных радиолокационных станций. Написана она очень содержательно и живо. Автор дает общую картину зарождения и развития радиолокации в СССР и, главным образом, ее генерального направления — импульсной радиолокации.

В конце 1974 г. появилась статья Р. П. Покровского [6], в которой определена роль и историческое место описываемых в этой книге работ, и в 1975 г. вышло расширенное и дополненное издание [35] книги М. М. Лобанова.

В предлагаемой читателю книге описаны работы, проводившиеся в течение четырех лет — с начала 1934 г. до октября 1937 г. — под руководством автора группой сотрудников в Ленинградском электрофизическом институте (ЛЭФИ), а затем в Научно-исследовательском институте № 9 (НИИ-9). Разработки завершились созданием первых опытных образцов аппаратуры для радиообнаружения и пеленгации самолетов. Таким образом, содержание книги ограничено материалами работ этой группы за указанное время и не отражает истории всех разработок по радиолокации в СССР за эти годы.

Кроме того, книга касается только доплеровской радиолокации при непрерывном излучении. С самого начала работ по причинам, которые будут указаны ниже, был выбран именно этот, а не импульсный метод.

Работы, описываемые в этой книге, проводились по заказам Главного артиллерийского управления (ГАУ) на аппаратуру для ведения огня зенитной артиллерии и Управления противовоздушной обороны (УПВО) страны на аппаратуру службы ВНОС для дальнейшего обнаружения самолетов.

При написании книги была использована имеющаяся литература, архивные материалы по в значительной мере сохранившимся работам тех лет (договоры, технические условия, протоколы совещаний и испытаний, научные отчеты, относящаяся к работам переписка), а также сведения участников проводившихся в те годы работ: А. И. Мержеевского, Р. Р. Гаврука, Э. И. Голованевского, М. Д. Гуревича (старшего), М. Д. Гуревича (младшего), В. А. Тропило.

Чтобы показать развитие работ в историческом плане на фоне существовавшей обстановки, изложение материала дано в хронологическом порядке.

Автор очень благодарен академикам Юрию Борисовичу Кобзареву и Николаю Николаевичу Семенову за просмотр рукописи, ряд ценных замечаний и за содействие при ее издании. Очень жаль, что нельзя высказать того же уже ушедшему от нас академику Александру Львовичу Мияцу. Самую искреннюю благодарность автор приносит профессору Игорю Васильевичу Бреневу за тщательное и доброжелательное рецензирование рукописи, за исключительно ценные замечания и советы.

ВОЗНИКНОВЕНИЕ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ ТЕМАТИКИ В ЛЭФИ

Радиолокация, как новое направление в технике, возникла в нашей стране в начале тридцатых годов. В силу большой перспективности и чрезвычайной важности проводившихся тогда в этой области разработок, к ним были привлечены крупные научно-технические силы, и к началу Великой Отечественной войны были уже достигнуты значительные успехи. Но особенно быстро стала развиваться радиолокация в годы войны, когда она получила самое широкое и разностороннее практическое применение.

Обращаясь к техническим средствам, на базе которых зарождалась радиолокация, особенно чувствуется колоссальный прогресс техники в этой области. То, что сейчас является элементарным, в то время часто было очень сложным. Радиолокация была одной из тех областей техники, где за несколько предвоенных лет и годы войны прогресс был наиболее осязаемым. Термин «новая техника» появился после войны именно в связи с разработкой сверхвысокочастотной и импульсной техники, стимулированной задачами радиолокации. Но когда начинались эти работы, технической базой для них была лишь техника ультракоротких (метровых) волн того времени и зарождавшаяся техника дециметровых и сантиметровых волн, причем основным назначением этой техники была радиосвязь.

Каков же тогда был ход мыслей исследователей? Как протекали поиски принципиальных и технических решений поставленных задач? Какова была роль отдельных людей или коллективов, создававших новое? Наконец, каковы были условия, в которых эти люди работали?

Работы по радиолокации начались в Ленинградском электрофизическом институте (ЛЭФИ) в январе 1934 г. Этот институт был основан А. А. Чернышевым, и история его основания такова [7].

В 1918 г. профессор Петроградского политехнического института А. А. Чернышев был приглашен профессором того же института А. Ф. Иоффе принять участие в создании одного из первых и на-

более крупных советских научно-исследовательских учреждений — Государственного рентгенологического и радиологического института, в котором А. Ф. Иоффе был директором самостоятельного физико-технического отдела. В этом отделе А. А. Чернышев — заместитель директора и заведующий техническим отделом.

В январе 1922 г. физико-технический отдел был преобразован в самостоятельный Государственный физико-технический рентгеновский институт Наркомпроса РСФСР, директором которого был назначен А. Ф. Иоффе, а его заместителем А. А. Чернышев. Здесь А. А. Чернышев сумел создать наилучшую по тому времени экспериментальную базу для научных работ в области физики, электротехники и только начинавшей развиваться электроники. Были организованы хорошо оборудованные механические и стеклотрувные мастерские, способные удовлетворить сложные требования высококвалифицированных физиков института. Но, кроме того, эти мастерские явились также базой для развития самостоятельных



Рис. 1. Академик Александр Алексеевич Чернышев.



Рис. 2. Ленинградский электрофизический институт. Здание отделов связи. Снимок 1930 г.

работ технического отдела, число и масштаб которых непрерывно росли.

Профессор Александр Алексеевич Чернышев (впоследствии академик) был крупным ученым. Он отличался широким, государственным подходом к возникавшим научно-техническим задачам и был одним из активных участников разработки ленинского плана ГОЭЛРО по части радиотехники [7]. Поэтому большинство задач, которыми тогда занимался руководимый им отдел, вытекало из этого плана: высокочастотная диспетчерская связь по проводам высоковольтных линий электропередач, защита линий связи от влияния высоковольтных линий и некоторые другие вопросы. Впоследствии число задач росло, и всегда это были крупные задачи с большой перспективой: передача больших мощностей на большие расстояния по высоковольтным линиям, передача энергии на постоянном токе, единая высоковольтная система СССР, телевидение и, наконец, радиолокация.

А. А. Чернышев был очень скромным человеком, для которого жизнь заключалась в научной и научно-организационной деятельности. Работал он очень целеустремленно и убежденно. К сожалению, имя этого замечательного ученого, сделавшего очень много для советской науки и техники при их становлении, недостаточно хорошо известно широким кругам технической общественности.

Научно-организационную деятельность А. А. Чернышева трудно переоценить. Под его руководством технический отдел физико-технического института постепенно вырос в самостоятельный институт с широкой тематикой — Ленинградский электрофизический институт, впоследствии (с 1934 г.) Научно-исследовательский электрофизический институт (ЭФИ) НКТП. В 1930 г. в Лесном, в Яшуновом переулке (ныне ул. Курчатова) были построены новые здания — отделов связи и высоковольтной лаборатории. В последнем размещалась крупнейшая по тому времени в СССР высоковольтная лаборатория, оснащенная современным оборудованием. Сейчас в нем располагается Научно-исследовательский институт постоянного тока Министерства энергетики и электрификации СССР. Сохранилось, хотя и реконструированное, здание отделов связи и администрации ЭФИ. А. А. Чернышев был настолько дальновиден, что предусмотрел на этом здании плоские крыши, приспособленные для работы на них, и лаборатории с полом на уровне этих крыш. Это создавало условия для экспериментирования

с различного рода излучениями, а отдел связи получил исключительные возможности для работ с дециметровыми волнами, для установки экспериментальной аппаратуры при работах в области радиолокационной техники.

Со временем коллектив сотрудников ЛЭФИ рос. В него влились новые группы научных работников, возглавившиеся крупными учеными — профессорами Д. А. Рожанским (электрические колебания и волны), Н. Д. Папалекси (полнейшие колебания), Н. Н. Андреевым (акустика и электроакустика), В. П. Вологдиным (нагрев токами высокой частоты в технологии металлов^{*}).

Возникновение в ЭФИ радиолокационной тематики определилось тем, что при возросшей скорости самолетов существовавшая тогда техника их обнаружения и пеленгации по звуку моторов и вращающихся пропеллеров оказывалась непригодной ни по дальности обнаружения, ни по точности определения угловых координат, не говоря уже о задаче определения расстояния до самолета, которую она не решала. Но надо было смотреть вперед, дальше — ведь скорость самолетов будет увеличиваться. А что тогда?

Кроме того, международная обстановка становилась все более напряженной — в Германии к власти пришел Гитлер, и агрессивная политика фашистской Германии заставляла быть готовыми к всяким неожиданностям. Стали возможными налеты авиации. Поэтому надо было искать принципиально новые пути обнаружения вражеских самолетов на больших расстояниях. Таким путем могло оказаться использование радиоволн.

16 января 1934 г. в Физико-техническом институте было организовано специальное совещание по этому вопросу. Это совещание собирал директор ФТИ академик А. Ф. Иоффе. Оно происходило в здании Физико-технического института на втором этаже, в комнате напротив тогдашнего актового зала. В числе участников совещания

^{*} Автор этих строк начал работать под руководством А. А. Чернышева в 1925 г. еще в техническом отделе физико-технического института, и в начале тридцатых годов уже в ЛЭФИ руководил лабораторией стабилизации частоты высокочастотных генераторов (далее по тексту автор называет ее просто лабораторией), являясь одновременно с 1933 г. начальником сектора радиотехники института.

В начале января 1934 г. А. А. Чернышев предложил автору выдвинуться занять новую темой, совершенно не связанной с его предыдущей научной работой, а именно: обнаружением и определением координат самолетов при помощи радиоволн, излучаемых наземным источником, т. е. тем, что сейчас называют радиолокацией. — *Прим. редакции.*

кроме А. Ф. Иоффе и А. А. Чернышева были: академик С. И. Вавилов и профессора А. А. Лебедев, Д. А. Рожанский, Н. Д. Папалекси, Н. Н. Андреев, Ф. А. Миллер, В. П. Линник. Из молодых сотрудников ЛЭФИ были В. В. Цимбалин и автор этих строк. Кроме того, были представители военных.

Задача, которая обсуждалась на совещании и которую надо было решать, состояла в создании аппаратуры, способной обнаружить вражеский самолет на расстоянии до 50 км при высоте полета 10 км. Такова была тактическая необходимость. По этому вопросу высказались Н. Н. Андреев, Н. Д. Папалекси, Д. А. Рожанский, А. Ф. Иоффе, С. И. Вавилов и последним А. А. Чернышев. Все высказавшиеся признавали безусловную перспективность использования радиоволн для решения такой задачи в принципе, но большинство выразило серьезные опасения, что реализация радиометода, основанного на приеме сигнала вторичного излучения самолета, окажется очень трудной, если не невозможной. Действительно, умогнительное представление ситуации, когда самолет — объект столь малый в сравнении с расстоянием 50 км или больше — должен явиться вторичным излучателем радиоволн с интенсивностью, достаточной для их приема на таком же расстоянии, было крайне необычным для того времени и содержало ряд вопросов, на которые тогда не было ответа.

Говорилось также о том, что задача в целом, вероятно, потребует много времени для своего решения, так как необходимо будет вести совершенно новые разработки в области, где нет еще никакого опыта. Поэтому следует продолжать работы по совершенствованию уже существующих звуковых и тепловых методов и аппаратуры, где не все возможности еще исчерпаны (выступления А. Ф. Иоффе, С. И. Вавилова и Н. Н. Андреева). Четко выразил свое положительное отношение к проблеме только А. А. Чернышев. Он сказал, что, по его твердому убеждению, использование вторичного излучения самолетом радиоволн является единственным путем решения задачи, что он считает его вполне реальным и берется вести работы в этом направлении.

Весьма возможно, что такое определенное заявление А. А. Чернышева объяснялось его большей, чем других участников совещания, подготовленностью к обсуждению вопроса. Договор с ГАУ на разработку аппаратуры, осно-

ванной на вторичном радионизлучении самолета, для зенитной артиллерии им к моменту совещания уже был заключен. Как пишет М. М. Лобанов, обратившийся к нему от имени ГАУ с предложением указанной работы и сообщивший ему результаты, полученные Ю. К. Коровиным в ЦРЛ в самом начале января 1934 г. [8], Чернышев согласился на него не сразу и попросил срок на обдумывание.

Совещание было деловым и очень серьезным. Осторожное отношение ученых к использованию радиоволн скорее свидетельствовало о сознании ими своей ответственности в столь важном вопросе, чем об их негативной позиции по отношению к новому методу вообще. Важное значение этого совещания для развития отечественной радиолокации состояло в том, что перед учеными была поставлена задача *государственной важности и совершенно ясная в принципиальном отношении*. Такая постановка будила творческую мысль, обязывала искать решения.

Как уже было сказано, еще до совещания ЛЭФИ был подписан договор с ГАУ, а после совещания еще один договор с УПВО страны — на работы по обнаружению и определению координат самолетов по их вторичному радионизлучению. Первый договор был подписан 11 января 1934 г., второй — 19 февраля того же года.

Теперь необходимо сказать об инициативе в постановке работ по радиолокации у нас в стране. Эта инициатива исходила не от ученых или гражданских инженеров, а от военных — от непосредственного потребителя [2—4,35]. И это естественно, так как именно перед ними стояли практические задачи обороны, и никто другой не знал так хорошо, что собой представляют, с одной стороны, существующие средства обнаружения и целенацели и какие у них недостатки, а с другой — каковы тактические характеристики современных боевых самолетов и каковы тенденции их развития. Военные инженеры видели слабость современных средств обнаружения и не чувствовали уверенности в их успешном развитии для решения практических задач. Словом, жизнь заставляла военных инженеров искать новые, более перспективные пути локации самолетов.

И также очевидно, что ищущая мысль не могла пройти мимо использования радиоволн для решения этой задачи. Как известно, еще в 1897 г. А. С. Поповым наблюда-

лось влияние на прием радиосигнала корабля, прошедшего между передающей и приемной станциями, а предложения по использованию вторичного излучения радиоволн для обнаружения кораблей в море делались еще в 1904 г. [9]. Однако в то время задача не была столь острой, а состояние радиотехники ограничивало разработку соответствующей аппаратуры. К 30-м годам нашего столетия радиотехника развилась настолько, что уже можно было говорить о постановке этой задачи с практическим выходом. Короче, существовала атмосфера, в которой идея радиообнаружения рождалась естественным образом у лиц, связанных с артиллерией или противовоздушной обороной страны. По данным одного из сотрудников лаборатории Р. Р. Гаврука, в самом начале 1934 г. в ЛЭФИ пришел командир зенитной батареи, которая располагалась в сосновой роще вблизи института. Он пришел с предложением этой идеи, но в ЛЭФИ уже занимались ее разработкой. Таким образом, сама идея использования радиоволн для обнаружения самолетов была не нова, новым было другое — *необходимость претворить эту идею в жизнь*.

Путь от идеи до ее практического воплощения может быть очень долгим и тернистым, особенно если идея новая, смелая, не завоевавшая еще сторонников среди лиц, могущих сыграть решающую роль в ее реализации. Так случалось и с радиолокацией. Как уже было сказано, новая идея далеко не сразу нашла поддержку у крупных радиофизиков, и даже некоторых, тоже крупных, военных специалистов-радиотехников, от мнения которых существенно зависела ее разработка. Преодолеть подобные мнения было очень важно. В связи с этим необходимо отметить инициативу военных инженеров ГАУ и УПВО страны. Эти организации первыми подняли вопрос об использовании радиоволн для решения задачи, финансировали их постановку в научно-исследовательских институтах страны.

Вокруг новой тематики в институтах сложились первые коллективы научных работников, начавшие углубленную разработку проблемы. Усилиями этих коллективов были созданы первые теоретические предпосылки и поставлены первые опыты по радиолокации, показавшие ее огромные возможности. Этим в значительной мере были преодолены предубеждения и сомнения — новый метод завоевал себе право на жизнь.

В результате у нас в стране работы по радиолокации были развернуты раньше или, во всяком случае, не позже, чем в других странах, и в тяжелые для Родины дни наша страна не оказалась неподготовленной в этой области.

Хочется сказать, также о тех людях, с которыми институту пришлось иметь дело при первых разработках по радиолокации, как с представителями военного заказчика, так как их роль в организации работ была очень велика.

Представитель ГАУ М. М. Лобанов (теперь генерал-лейтенант в отставке) являлся организатором первых опытов по радиолокации, относящихся к 1933 г. Тогда инженером Ю. К. Коровиным в Центральной радиолоборатории (ЦРЛ) в Ленинграде в январе 1934 г. впервые в СССР был зарегистрирован эффект вторичного излучения самолета на дециметровых волнах. В 1934 г. М. М. Лобанов, продолжая поддерживать работы Ю. К. Коровина в ЦРЛ, оформил упомянутый выше договор ГАУ с ЛЭФИ и активно способствовал развитию и расширению этих работ по заказам ГАУ у нас в стране. Как представитель военного заказчика, он всегда относился с вниманием к сложности задачи, к трудностям, которые неизбежно встречались на новом пути. Между ним и ЛЭФИ довольно скоро установился рабочий контакт: он полностью доверял разработчикам, помогал в организации работ, вносил ценные предложения. Наконец, понимая важность научного общения между специалистами, он организовал встречи сотрудников ЛЭФИ с группой Ю. К. Коровина в ЦРЛ. Словом, делал все для успешного развития работ.

Представитель УПВО страны П. К. Ощепков, так же, как и М. М. Лобанов, был убежден в осуществимости нового метода. Он был одним из инициаторов деятельности, проявленной УПВО страны в деле организации упомянутого совещания ученых физиков и радиофизиков в ФТИ под председательством А. Ф. Иоффе. Он оформил договор УПВО с ЛЭФИ на разработку первой аппаратуры для дальнего обнаружения самолетов по вторичному радиоизлучению и контролировал выполнение этих работ в ЛЭФИ. К сожалению, он не стремился к такому контакту с институтом, какой был у М. М. Лобанова, не поддержал дальнейшего развития работ в ЛЭФИ для УПВО; они были прекращены в 1935 г. и больше в институте не велись.

1934 год

В 1934 г. к работам по радиообнаружению самолетов были привлечены сотрудники двух лабораторий ЛЭФИ: лаборатории сантиметровых волн Ф. А. Миллера и лаборатории стабилизации частоты ламповых генераторов.

А. А. Чернышев дал указание механическим и вакуумным мастерским выполнять все заказы, связанные с радиолокацией, возможно быстрее, а общее руководство работами поручил автору.

Работы по радиообнаружению, естественно, были секретными. Для их ведения были выделены специальные комнаты, входить в которые могли только работающие в них люди. Комнаты эти опечатывались и сдавались охране в 11 часов вечера, и для многих работающих над этой темой это была единственная причина, заставлявшая кончать работу и уходить домой. Должен сказать, что такой стиль работы, когда люди оставались в лабораториях до глубокой ночи, был вообще характерен для всех физических институтов в Лесном. Была какая-то жадность к работе, может быть вызванная сознанием того, что нет предела для человеческой мысли, что человек все может. Недаром из этих институтов вышло так много крупнейших ученых с мировым именем.

Пути решения задачи

Тактико-технические условия

Договоры, заключенные ЛЭФИ с упомянутыми выше организациями, отличались не только техническими условиями, но и сроками выполнения работ.

Договор с ГАУ требовал создания аппаратуры, которая сначала должна была заменить звукоулавливатель при стрельбе зенитной артиллерии, а затем превзойти его по своим техническим показателям. Как было записано в этом договоре, аппаратура предназначалась для «радиопеленгации самолетов». Термин «радиопеленгация» в данном случае происходит из сопоставления нового аппарата

е звукоулавливателем, который дает только угловые координаты самолета — пеленг. Задача измерения третьей координаты — расстояния — на первых этапах работы перед ЛЭФИ не ставилась. Позднее (в 1937 г.) эта задача была поставлена по предложению института и был заключен договор на соответствующие разработки.

Дальность действия разрабатываемой аппаратуры должна была составлять 10 км. Точность определения угловых координат на первых этапах не задавалась. Задавался угол диаграммы направленности антенных устройств; он должен был быть $3-5^\circ$. Работа планировалась на ряд лет, т. е. в случае успеха ее первых этапов институт стал бы развивать это направление исследований и конструкторских работ.

В 1934 г. ЛЭФИ был обязан разработать эскизный проект опытного радиопеленгатора, для чего требовалось провести необходимые научно-исследовательские разработки, чтобы в 1935 г. создать его действующий макет.

Договор с Управлением противовоздушной обороны страны был более жестким. Основные результаты должны были быть получены уже в 1934 г. Работы, которые ЛЭФИ обязан был выполнить в 1934 г., содержали три раздела. Исследования, подтверждающие возможность технического осуществления принципа обнаружения самолета по его вторичному радиоизлучению (предусмотренные первым разделом), должны были быть закончены в июне 1934 г. Работы в области дециметровых волн и проведение измерений отражения их от объектов различной формы и различных материалов (второй раздел) — к тому же сроку. Наконец, работы, предусмотренные третьим разделом — изготовление комплекта действующей аппаратуры обнаружения самолетов — к концу года.

Тактико-технические требования на эту аппаратуру, записанные в договоре, были следующие: дальность обнаружения 50 км при высоте полета до 10 км, точность определения угловых координат $2-5^\circ$; определение расстояния до самолетов, их курса и числа. Однако в договоре имелся пункт, согласно которому эти требования рассматривались как «нормальные»*, к которым необходимо стремиться. Реальные же требования на поставляемую в конце года аппаратуру, а также стоимость ее должны были быть уточнены после получения результатов по первым двум разделам договора. Работа имела шифр «Ранд».

* Термин, записанный в договоре А. А. Чернышевым.

Начиная работы, сотрудники лаборатории не сомневались, что смогут наблюдать сигнал вторичного излучения самолета, но они не могли знать, какова будет его интенсивность и, следовательно, возможно ли создание аппаратуры, обладающей необходимой дальностью действия. Этот вопрос был тогда главным. Решение всех остальных задач: определение координат самолета, его курса, числа самолетов, — естественно, зависело от ответа на главный вопрос, хотя принципиальная возможность решения и этих задач также рассматривалась.

Выбор метода

Для решения поставленных задач с самого начала представлялось возможным использовать два метода, основанные на уже имеющемся опыте. Это импульсный метод, применявшийся для зондирования слоев ионосферы [10], по соответствующим образом приспособленный для решения этих задач, и метод интерференции прямой и переизлученной движущимся самолетом волн, т. е. наблюдение эффекта Доплера — явления, отмеченного американскими исследователями Тревором и Картером [11] при изучении ими распространения радиоволн длиной менее 10 м.

После обсуждения этого вопроса с А. А. Чернышевым были сделаны следующие выводы: использовать существующую для зондирования ионосферы аппаратуру невозможно, так как длительность посылок высокочастотного сигнала для требуемых расстояний у нее слишком велика. Поэтому нужна разработка совершенно новой аппаратуры: короткоимпульсных источников питания анода генераторной лампы, самой генераторной лампы, широкополосных приемников, быстродействующих осциллографов и др. Кроме того, осторожное отношение к этому методу вызывалось опасениями, что помехи, создаваемые отражениями от неподвижных хорошо отражающих предметов и сравнительно высокий уровень шумов приемника из-за его широкополосности могут привести к непреодолимым трудностям.

Использование же интерференционного метода было очень заманчиво своей технической подготовленностью, так как для его реализации могли быть использованы уже имевшиеся средства радиотехники непрерывного режима: генераторы, приемники и др. Возможность использования

в этом методе узкополосной приемной аппаратуры являлась, по нашему мнению, его большим преимуществом. Главным же преимуществом метода считалось то, что он позволяет наблюдать только движущиеся объекты, а это исключает помехи от неподвижных предметов, расположенных между приемной аппаратурой и целью или за ней.

Учитывая чрезвычайно сжатые сроки работ по договору с УПВО страны, целесообразно было остановиться на последнем методе. Только он мог позволить в требуемые короткие сроки поставить необходимый прямой опыт и получить ответ на упомянутый выше главный вопрос — о возможности практической реализации нового метода обнаружения самолетов.

Что касается определения координат цели, то в то время решение этой задачи представлялось нам возможным при использовании любого метода. В любом случае необходимо было создавать узконаправленные антенные системы, а затем определять координаты либо через время запаздывания эхо-сигнала, как и при определении высоты слоев ионосферы, в первом методе, либо же приемом излученных самолетом вторичных волн на разнесенные приемники — во втором. В последнем случае решение задачи определения курса самолета представлялось более простым.

Как известно, оба метода радиолокации — импульсный и доплеровский непрерывный — получили впоследствии развитие и используются сейчас в практике каждый в своей области.

Выбор длины волны

Было очевидно, что длина волны, на которой будет работать аппаратура, должна быть меньше линейного размера самолета либо сравнима с ним.

Аппаратура ГАУ должна была быть малогабаритной и подвижной, приспособленной для работы в полевых условиях. Такие требования нельзя было удовлетворить при длинных волнах. Волна должна была быть возможно короткой, лежащей в дециметровом, а лучше в сантиметровом диапазоне. Считалось желательным, чтобы она была не длиннее 25 см.

Аппаратура УПВО могла быть стационарной; ее габариты ничем не ограничивались, по крайней мере на пер-

вых порах. Поэтому здесь можно было использовать более длинные волны, техника которых была разработана лучше. Однако вопрос о выборе оптимальной волны был пока открытым, впоследствии ее длина должна была быть уточнена. На первом этапе работ была принята волна длиной около 5 м.

Под оптимальной или «критической» волной мы понимали такую наибольшую волну, при которой относительная величина энергии вторичного излучения самолета еще не снижалась настолько, чтобы существенно влиять на дальность действия аппаратуры.

Необходимая мощность передатчика

Элементарный расчет дальности действия установки с совмещенными передатчиком и приемником, проведенный для свободного пространства, дал тривиальное выражение, широко используемое и сейчас в радиолокации. Дальность действия оказывалась пропорциональной корню четвертой степени из мощности, излучаемой устройством, из коэффициентов направленного действия передающей и приемной антенн и обратно пропорциональной корню квадратному из чувствительности приемника, выраженной в единицах напряжения. Кроме того, в формулу входил коэффициент, показывающий, какая доля падающей на самолет энергии излучается им в обратном направлении. Этот коэффициент тогда назывался «коэффициентом отражения».

Было ясно, что самолет — очень сложный «отражатель». Относительная величина излученной им в обратном направлении энергии зависит от его типа, ориентации в пространстве, материала, из которого он сделан, и от длины волны. Величину эту можно было определить только специально поставленными измерениями или непосредственно из опыта, который должен был быть проведен с помощью изготавливаемой аппаратуры.

Все же попытка приближенной оценки необходимой мощности для радиопеленгатора ГАУ на сантиметровых волнах была сделана, о чем будет сказано ниже. Что же касается аппаратуры «Рapid», то здесь мощность передатчика и чувствительность приемника практически определялись возможностями тогдашних технических средств: генераторными лампами и типом приемника.

Эскизный проект радиопеленгатора самолетов

Как уже говорилось, в 1934 г. ЛЭФИ по договору с ГАУ должен был составить эскизный проект «радиопеленгатора самолетов». Без достаточного освоения техники дециметровых или сантиметровых волн этого сделать было нельзя. Поэтому главные наши усилия по этой проблеме в 1934 г. были направлены на соответствующие подготовительные работы по этой технике.

Несмотря на значительные успехи в этой области, еще не было установленных образцов ламп, способных устойчиво отдавать достаточные мощности. Наиболее устойчиво работающим генератором дециметровых и сантиметровых волн был генератор с тормозящим полем с электронными колебаниями — так называемыми колебаниями Баркгаузена — Курца*. Такой генератор, несмотря на его малую мощность и малый к. п. д., уже начинал находить себе практическое применение, например в опытной установке направленной радиосвязи через пролив Ламанш [12]. Так как мощность такого генератора измерялась долями ватта, то он не был пригоден для решения поставленных задач.

Другим более перспективным путем решения задачи было использование магнетронных генераторов. Такие генераторы разрабатывались в ряде институтов страны, а также в ЛЭФИ в лаборатории Ф. А. Миллера. К началу работ по радиолокации он получал от двухсегментного магнетрона (от магнетрона с цилиндрическим анодом, разрезанным по образующим на два равных полуцилиндра — сегмента, к которым присоединялись внешняя колебательная система) на волне в несколько десятков сантиметров мощность до 7 Вт, что было для того времени неплохим достижением.

В этой лаборатории специально для работ по радиообнаружению самолетов была выделена группа под руководством очень энергичного, смелого и настойчивого экспериментатора В. В. Цимбалына, в которую входили научный сотрудник А. Я. Гейман и несколько лаборантов. Группа эта должна была в течение 1934 г. провести цикл исследований по созданию генераторов в диапазоне волн, пригод-

* Явление внутризлектродных колебаний электронов в триоде в режиме тормозящего поля в СССР были обнаружены С. И. Зильманевичем в 1922 г., и сообщение о нем было опубликовано в 1923 г. независимо от работ немецких ученых Баркгаузена и Курца, открывших это явление в 1919 г. и опубликовавших это открытие в 1920 г.

ных для радиопеленгатора, и составить его эскизный проект. Кроме того, в соответствии с первым разделом договора с УПВО, она должна была провести исследования по отражению электромагнитных волн от объектов различной формы и материалов.

В течение 1934 г., помимо исследования специальных искровых генераторов с дугой в атмосфере водорода, эта группа изготовила серию двухсегментных магнетронов с внутренним колебательным контуром с различными по величине параметрами и провела их исследование [13]. Хотя удовлетворительные результаты как по мощности при заданной волне, так и, главным образом, по устойчивости работы получены не были, все же можно было приступить к составлению эскизного проекта радиопеленгатора. По мере получения ламп с лучшими характеристиками проект можно было бы постепенно совершенствовать.

Для исследования отражения радиоволн от различных объектов по договору с УПВО на крыше здания ЭФИ была создана специальная установка с параболическим отражателем диаметром 2 м с полуволновым вибратором — облучателем в фокусе, питаемым от одного из разработанных магнетронов. Были определены коэффициенты отражения и сняты диаграммы направленности вторичного излучения от плоских экранов простейшей формы (квадрат, круг), сделанных из различных материалов (металла, фанеры и др.). Однако сделать какие-либо выводы об «отражении» радиоволн от самолета на основании результатов этих опытов было нельзя; нужен был опыт на модели самолета. Такой опыт был поставлен, но уже в 1935 г.

При посещении ЛЭФИ в феврале 1934 г. М. М. Лобанов рекомендовал ознакомиться с аналогичной работой по радиопеленгации самолетов, которая велась по заданию ГАУ в Центральной радиолоборатории (ЦРЛ) в Ленинграде. Работами руководил Ю. К. Коровин, который в начале января 1934 г. наблюдал отражение от самолета радиоволн дециметрового диапазона. Правда, зарегистрированное расстояние было невелико, 600—700 м, однако сам эффект отражения был подтвержден. Тогда же были написаны соответствующие письма, было получено разрешение, но посещение сотрудниками ЛЭФИ лаборатории Ю. К. Коровина произошло только в 1935 г.

Все же по инициативе ГАУ 30 апреля 1934 г. в ЛЭФИ состоялось совещание сотрудников ЛЭФИ и ЦРЛ, занимающихся радиопеленгацией. Представителем от ГАУ был

Д. И. Жук, от ЦРЛ — Ю. К. Коровин, от ЛЭФИ, кроме автора, в совещании участвовали пом. директора по оборонным работам А. П. Яковлев, научные сотрудники А. Я. Гейман и Р. Р. Гаврук. Совещание заслушало два сообщения — автора и Ю. К. Коровина [14].

Автор рассказал о своих оценочных расчетах параметров радиопеленгатора с дальностью действия 10 км. Исходным в этих расчетах [13] было предположение, что объект (самолет) заменен эквивалентным отражателем с площадью проекции на плоскость, перпендикулярную к направлению пеленга, равной 1 м^2 , и что вся энергия падающей на него волны рассеивается диффузно в полусферу, обращенную к передатчику*. Тогда элементарный подсчет для свободного пространства показывает, что при чувствительности приемника 50 мкВ и при коэффициентах направленного действия передающей и приемной антенн 30 дБ дальность действия радиопеленгатора 10 км обеспечивается при мощности излучения порядка 1 Вт.

Произвольная величина эффективной площади рассеяния и заведомо неравномерное, а не диффузное излучение самолетом вторичных волн делали этот расчет весьма условным, но все же он как-то ориентировал на порядок величин, и практически, можно было говорить о требуемой для радиопеленгатора мощности излучения порядка нескольких (до десятка) ватт.

В своем выступлении Ю. К. Коровин рассказал, что в ЦРЛ уже проведена экспериментальная работа по созданию магнетронов мощностью 8—9 Вт на волне 28—30 см и 0,25 Вт на волне 15 см. Опыт по отражению от самолета (волна 50 см) показывает, что для расстояния 10 км мощность излучения должна быть около 50 Вт. Однако по расчетным оценкам при волне 15—20 см эта мощность при тех же антеннах должна быть меньше — порядка 10 Вт, что совпадало с оценками ЛЭФИ.

К концу 1934 г. В. В. Цимбалин и А. Я. Гейман составили эскизный проект радиопеленгатора, который был

* Такой метод определения отражающей способности цели через ее эффективную площадь рассеяния принят в радиолокации и сейчас, с той лишь разницей, что в существующем определении этой площади вся падающая на цель энергия ненаправленно рассеивается в угле 4π ср, а не 2π ср, как было принято автором. Интересно отметить, что для современного истребителя величина этой поверхности лежит в пределах $1-5 \text{ м}^2$ [15], и, приняв для нее (в современном определении) 2 м^2 , автор был довольно близок к истине, учитывая, что аппаратура того времени была рассчитана на неметаллический самолет.

отправлен в ГАУ. Излучающая и приемная антенны на основе параболических отражателей диаметром 2 м в раскрыве должны были быть укреплены по концам стальной трубы. Поворот трубы вокруг своей оси обеспечивал выбор угла места. Крепление этой трубы в ее середине на вертикальной стойке в подшивнике обеспечивало ее поворот по азимуту. Приемник — суперрегенеративного типа, передатчик — на магнетроне. Наиболее громоздкой частью передатчика был электромагнит, который должен был обеспечивать в своем зазоре размером около 30 мм поле с индукцией около $0,4 \text{ Т}^*$.

Аппаратура «Рapid» и ее исследование

По указанным выше причинам в 1934 г. основной упор был сделан на работы по договору с УПВО. Быстрейшая проверка возможности практической реализации метода обнаружения самолетов по вторичному излучению была главной задачей.

Хотя техника метровых волн в то время была уже на довольно высоком уровне развития, разработка как передающего, так и приемного устройств потребовала больших усилий, так как для лаборатории это была все же новая область техники. Опыта было маловато, практически все, начиная от расчетов и конструкций, через макетную стадию вплоть до окончательного создания аппаратуры, пришлось делать одновременно с накоплением опыта.

Ведущим сотрудником группы, занятой этими работами, был А. И. Мержеевский — способный, инициативный, энергичный инженер. Он пришел в ЛЭФИ после окончания Политехнического института в 1933 г. и работал



Рис. 3. Алексей Игнатьевич Мержеевский.

* К сожалению, в архивных материалах этот первый эскизный проект радиопеленгатора пока не обнаружен.



Рис. 4. Родيون Романович Гаврук.

окончил аспирантуру по теории распространения радиоволн. Во второй половине 1934 г. он являлся начальником группы оборонных работ в ЭФИ, но, несмотря на свою занятость, принимал непосредственное участие во всех описываемых работах для УПВО. В группу входили также лаборанты П. А. Киткин, и А. Волков, а также с мая 1934 г. Э. И. Голованевский, тогда еще студент.

Аппаратура для УПВО была изготовлена и налажена очень быстро (в течение марта, апреля и частично мая). Сознание важности работы, ответственности, которая лежала на работниках лаборатории, желание изучить и понять эту новую область техники, плюс энтузиазм молодежи создавали условия полной отдачи людей. Личные интересы были в стороне. Это определило успех дела.

Генератор передатчика был собран по двухтактной схеме с индуктивной обратной связью на двух лампах типа ГУ-150. Он работал на волне 4,7 м и был модулирован по сетке звуковым тоном 1 кГц от камертонного генератора. Мощность, передаваемая им антенне, была около 200 Вт. На рис. 5,а показана его принципиальная схема [16]. Питание передатчика производилось от трехфазного ртутного выпрямителя с П-образным индуктивным фильтром. На плоской крыше здания ЭФИ была построена ка-

сначала в области стабилизации частоты, а когда начались работы по радиообнаружению самолетов, полностью перешел на эту тематику. Вся разработка аппаратуры «Рапид», ее наладка были произведены либо им лично, либо с его непосредственным участием. Он был постоянным и очень активным участником всех экспериментов с этой аппаратурой — и лабораторных, и полевых. Его творческий вклад в создание и исследование аппаратуры «Рапид» трудно переоценить.

Вторым очень активным участником работ был Р. Р. Гаврук. В то время он был аспирантом ЭФИ и позже

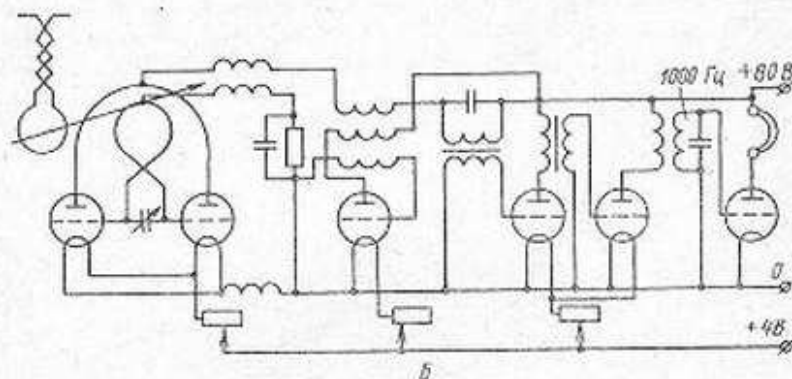
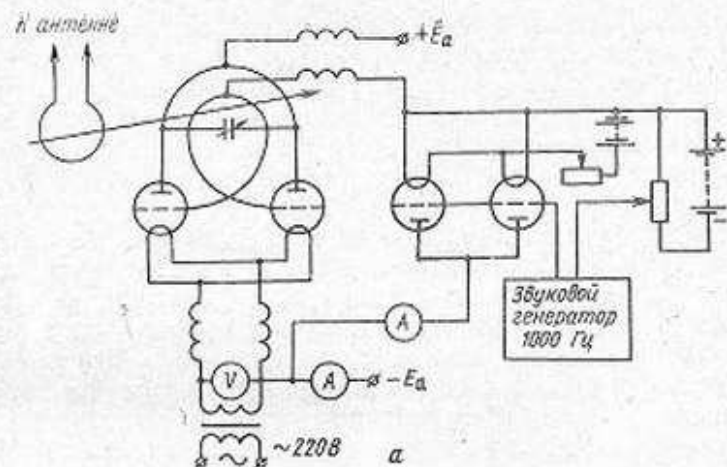


Рис. 5. Принципиальная схема радиопередатчика (а) и радиоприемника (б) аппаратуры «Рапид».

бина, в которой размещался этот передатчик с источниками питания и модулирующим генератором, рядом была расположена антенна. Она состояла из четырех активных полуволновых вибраторов, размещенных в два яруса по два, и такой же сети пассивных вибраторов — отражателей. Вибраторы были установлены на фарфоровых изоляторах, укрепленных на деревянном каркасе, который можно было ориентировать в требуемом направлении максимума излучения антенны.

В приемной аппаратуре был использован приемник суперрегенеративного типа. Это был наиболее распространенный в то время тип приемника для волн метрового

диапазона. Более совершенные супергетеродинные приемники тогда еще только разрабатывались. При отсутствии особых требований к качеству приема этот выбор был правильным, так как такой приемник обладал хорошей чувствительностью, был наиболее прост, надежен и удобен в обращении.

Но суперрегенеративный приемник имеет относительно высокий уровень собственных шумов. Чтобы уменьшить эти шумы и тем самым увеличить чувствительность аппаратуры, узкополосным резонансным фильтром, настроенным на частоту 1000 Гц, т. е. на частоту модуляции, была сужена частотная полоса приемника. Это можно было сделать, так как доплеровские частоты при тогдашних скоростях самолетов и нашей волне не превышали 50 Гц. В анодную цепь усилительной лампы, стоявшей после фильтра, включались телефонные наушники, а впоследствии трансформатор и детектор для выделения сигнала доплеровской частоты, который после усиления подавался на самоиндуцирующий прибор — одаулятор. Принципиальная схема приемника показана на рис. 5, б. Приемник был собран на лампах УБ-107 и УБ-110 и имел отдельный модулирующий генератор, генерировавший колебания частотой 14—15 кГц. Питание приемника осуществлялось от сухих и аккумуляторных батарей.

Приемная антенна — простой одипочный полуволновый вибратор, укрепленный на подставке на высоте около 1,5 м над землей и соединенный с приемником гибким фидером, выполненным из куска скрученного осветительного шнура. Поляризация волны в опытах была всегда горизонтальная. На рис. 6 показан этот первый радиолокационный приемник ЛЭФИ, установленный на специальных носилках.

В начале июня 1934 г. можно было приступить к опытам с этой приемной аппаратурой. Автор и А. И. Мержевский прежде всего обошли при работающем передатчике территорию, прилегающую к институту, чтобы проверить приемник и с надеждой на случайный самолет. Самолета, правда, не дождался, но убедились в устойчивости работы аппаратуры. На другой день А. И. Мержевский с лаборантом снова отправился для наблюдений. На этот раз самолет пролетел вблизи и они вернулись с сообщением, что аппаратура совершенно четко зарегистрировала пролет самолета.

Для дальнейших более тщательных наблюдений следовало выбрать место, где чаще летали самолеты, т. е. в районе какого-либо аэродрома. Решили остановиться на районе Комендантского аэродрома, поскольку он был расположен подалеку. Здесь происходили учебные полеты только на легких самолетах, но это не было препятствием для первых опытов.

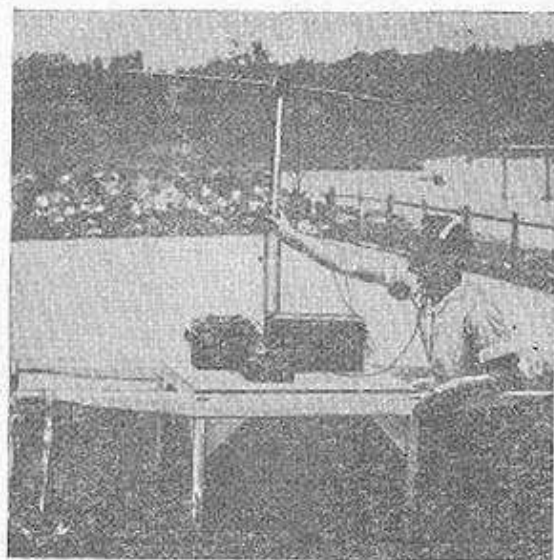


Рис. 6. Радиоприемная аппаратура «Рapid». У приемника А. И. Мержевский. Снимок 1934 г.

Через несколько дней, раздобыв лошадь и телегу и установив на этой телеге аппаратуру, отправились в путь по Старо-Парголовскому проспекту (теперь проспект Мориса Тореза), мимо завода «Светлана» в Удельный парк. Этот парк граничил с Комендантским аэродромом, расположенным к югу от него.

Для наблюдений была выбрана лесная поляна на опушке парка. Поляна со стороны парка была ограничена высокими деревьями, росшими по крутому склону, а со стороны аэродрома — высоким кустарником и мелкими деревьями. Она поросла густой травой, вскрывшей полевыми цветами.

Был тихий ясный летний день. Гул самолетов со стороны аэродрома слышался все время. Были видны летящие самолеты, когда они приближались к парку.

Чтобы иметь лучшую чувствительность аппаратуры, нужно было по возможности ослабить прямой сигнал от передатчика; тогда суперрегенеративный приемник, усиление которого максимально при малых сигналах, будет наиболее чувствителен и в доплеровской модуляции последних. Здесь, вдали от передатчика, ослабление прямого сигнала можно было достигнуть, используя интерференцию волн, подбирая место установки приемника, высоту и, в некоторой степени, ориентацию приемной антенны. После такой наладки первый же пролетающий поблизости самолет заявил о себе сильной модуляцией силы звукового тона в наушниках.

Наблюдения показали очень четкую работу аппаратуры. Самолеты, пролетающие вблизи, регистрировались совершенно уверенно. Так же уверенно регистрировались самолеты, пролетающие довольно далеко, но между приемником и передатчиком. Значи-

тельно хуже регистрировались самолеты, пролетавшие в стороне аэродрома, т. е. за приемником, если смотреть от передатчика. Высота полета, видимо, не играла существенной роли, но самолеты летали невысоко и нельзя было сделать определенных выводов. Было очевидно, что вторичное поле, создаваемое самолетом, существенно зависит от угла наблюдения вторичной волны. Но, конечно, главным результатом описанного эксперимента был сам факт регистрации вторичного излучения самолета, которое наблюдалось с помощью разработанной аппаратуры совершенно четко с характерной доплеровской частотой. В этом смысле опыты были вполне удачными, и все участники вернулись в институт, окрыленные успехом.

Следующая поездка в это же место, а затем на Лахту, на берег «Маркизовой лужи» (около 11 км от передатчика), состоялась также в июне с представителем УПВО П. К. Ощепковым, приехавшим для этого по приглашению ЛЭФИ. Здесь, на открытом месте, легко было наблюдать за полетом самолета, видеть его курс, оценивать расстояние до него. Несмотря на большее удаление от передатчика интенсивность эффекта не стала меньше. Самолеты также четко регистрировались нашим прибором.

В начале июля 1934 г. от УПВО страны прибыла комиссия. Она должна была принять работы по первому разделу договора с УПВО от 19 февраля. В числе прибывших были П. Е. Хорошилов и П. К. Ощепков. Комиссия наблюдала действие аппаратуры в той же Лахте 11 июля. К этому времени аппаратура была снабжена регистрирующим самопишущим прибором — ондулятором.

День был ясный. В небе плавали редкие кучевые облака. Над заливом летало много легких самолетов различных типов, в одиночку и группами, иногда скрываясь в облаках. Было много гидросамолетов. Аппаратура по-прежнему действовала четко, ондулятор вычерчивал кривую доплеровского сигнала. При одном самолете кривая записи была близка к синусоиде с меняющимся периодом — в соответствии с курсом, скоростью и координатами самолета. При нескольких самолетах кривые записи принимали более сложную форму, и, когда самолетов было не более трех, по этой форме можно было судить об их числе. Такая запись на ленту являлась объективной регистрацией наличия самолета. Было установлено также, что дальность действия аппаратуры невелика. Самолет в сторону от передатчика обнаруживался в радиусе около 3 км от приемника при высотах до 1000 м. В акте комиссии, составленном тогда же, 11 июля, указывалось, что принцип, положенный в основу решения поставленной задачи,

верен и что следует форсировать создание окончательного образца аппаратуры [2].

Вскоре после этих испытаний УПВО отдельным письмом просило институт изготовить такой же комплект аппаратуры с более современным техническим оформлением для монтажа на автомобиле. Такая аппаратура была изготовлена и передана УПВО.

Радиус действия разработанного передатчика определялся в районе Пулкова, Гатчины (50 км от передатчика), Сиверской (75 км). В Гатчине эффект был тот же, что и в Лахте, в Сиверской прием оказался неуверенным, что было естественно, так как прямой видимости при принятых высотах антенн уже не было и прямой сигнал передатчика сам по себе был неустойчив, являясь результатом сложения различных преломленных и отраженных радиолучей.

Все эти опыты проводились по случайным самолетам, летавшим на небольших высотах. Следовало проверить работу аппаратуры по самолетам боевым, металлическим, летавшим достаточно высоко. Для этой цели в районе Гатчины УПВО были организованы специальные полеты бомбардировщика на различных высотах.

На испытаниях, происходивших 9 августа 1934 г. [2], присутствовали А. А. Чернышев, П. К. Ощепков, Р. Р. Гаврук и автор этих строк.

В этот день небо было облачное, но с большими прояснениями. Было сухо. Немного не доезжая Гатчины, участники испытаний выбрали место в поле недалеко от шоссе, вынесли туда аппаратуру и стали ждать самолета, который скоро должен был появиться. Передатчик в Ленинграде работал, что было слышно в приемнике. Появился самолет — тяжелый бомбардировщик — испытания начались.

При испытаниях самолет летал вдоль шоссе Гатчина — Ленинград, поднимаясь все выше и выше на заданные заранее высоты и удаляясь от приемника в обе стороны на 5—7 км. Пролетая над приемником, самолет создавал поле вторичного излучения, сила которого практически не ослабевала по мере увеличения высоты его полета или при наличии облаков. На виражах в стороне Ленинграда он обнаруживался совершенно уверенно, в стороне Гатчины менее уверенно.

Из этих испытаний можно было сделать вывод о том, что дальность действия аппаратуры «Рapid» для боевого металлического самолета 5—7 км. По высоте самолет обнаруживался на расстоянии не менее 5,2 км (выше самолет не поднимался). Наблюдавшееся постоянство силы сигнала с высотой указывало на возрастание интенсивно-

сти поля первичного излучения. Это поле действительно должно было расти, так как максимум излучения передающей антенны был ориентирован под некоторым углом ($\sim 15^\circ$) к горизонту.

Таким образом, 9 августа 1934 г. была продемонстрирована возможность регистрировать новым методом самолеты, перелетающие некую зону наблюдения на любой высоте, при любых метеорологических условиях и в любое время суток. Это был *первый вполне практический результат новой разработки*, тем более, что необходимая для него аппаратура целиком базировалась на существующей технике и была очень простой и надежной.

Следует сказать, что эти испытания произвели тогда на всех очень сильное впечатление. Как-то сразу почувствовались большие возможности нового метода. Самолет был очень высоко, иногда его не было видно за облаками, звук моторов был слышен слабо или совсем не слышен, сигнал же от приемника был сильным и четкий. Стало ясно, что с новой аппаратурой при неблагоприятных метеорологических условиях (ветер, гроза и т. п.) не сможет конкурировать ни один из известных методов обнаружения самолетов. Стало ясно также, что техническая осуществимость радиоразведки самолетов по вторичному их излучению теперь доказана неопровержимо, что уверенность в этом теперь стала фактом.

Летом 1934 г. изготовленный ЛЭФИ по специальному заказу УПВО комплект аппаратуры «Рapid» демонстрировался в Москве высшему командованию Красной Армии [4].

28 октября 1934 г. УПВО страны был выслан научный отчет ЭФИ по выполнению работ согласно первым двум разделам договора с подробным описанием аппаратуры «Рapid» и результатов ее исследования, в котором был дан утвердительный ответ на вопрос о возможности обнаружения самолетов с помощью радиоволн*. 3 ноября УПВО был выслан акт о конкретизации тактико-технических требований на аппаратуру согласно третьему разделу договора [18]. В акте была указана ожидаемая дальность действия новой аппаратуры — 15 км; координат цели аппаратура не определяла. УПВО страны не возражало против этих условий.

* К сожалению, этот отчет в архивных материалах автором не обнаружен, но на него имеется ссылка в акте готовности работ по п. 2а договора [17].

Новый передатчик был собран по двухтактной схеме на лампах ГУ-500 с модуляцией звуковым тоном 1 кГц и отдавал в антенну мощность 0,8 кВт. Передающая антенна имела по вертикали пять этажей по два полуволновых вибратора в каждом и такую же систему активных вибраторов — отражателей. Она излучала в пределах углов 60° по азимуту и 30° по углу места. Это давало увеличение коэффициента направленного действия по сравнению с прежней антенной в четыре раза.

Приемных антенн было три. Они имели по четыре полуволновых вибратора в два этажа по два и такую же систему отражателей, что давало углы 75° по азимуту и углу места, а коэффициент направленного действия возрастал по сравнению с одиночным вибратором прежней антенны также в четыре раза. Учитывая увеличение излучаемой мощности в четыре раза и исходя из дальности действия по металлическому большому самолету, полученной 9 августа и равной 5—7 км, можно было ожидать для новой аппаратуры и для самолета того же типа дальности действия, в три раза большей, т. е. 15—20 км. В акте конкретизации технических условий была указана первая цифра. В комплект новой аппаратуры входили также три приемника, индукций прибор (ондулятор) с тремя первыми и источника питания.

Отработка новой аппаратуры по самолетам ввиду их отсутствия не производилась, испытания ее при сдаче 5—11 марта 1935 г. происходили по легкому, а не по тяжелому самолету, как это было в августовских опытах вблизи Гатчины. При испытаниях обнаружались новые явления: вновь разработанные направленные приемные антенны позволяли легко уменьшить до нужной величины прямой сигнал, но приемник при этом принимал помехи шумового характера, возникавшие при работе передатчика и возраставшие, когда местность перед приемной антенной «освещалась» вторичной волной, излученной самолетом, находящимся «сзади» (в стороне передатчика). Шумы были сильнее, когда перед приемником местность была изрезанная, лесистая, и были слабее, когда приемник располагался на земле у края ровной поверхности, например берега замерзшего залива (Ляхта). В результате работа аппаратуры была неустойчивой, надежность обнаружения самолета — невысокой.

Позднее стало ясно, что это явление — результат неустойчивости частоты передатчика и флуктуации ампли-

туды и фазы прямого сигнала. Этот «прямой» сигнал при узконаправленных приемных антеннах являлся результатом векторного сложения многих флуктуирующих по амплитуде и фазе сигналов, отраженных от предметов, находящихся в пределах угла направленности антенны. Как известно [33], борьба с этой помехой, которая в современных доплеровских радиолокаторах называется «шум земли», и сейчас является серьезной проблемой.

Несмотря на эти и другие трудности, связанные с неотработанностью аппаратуры по самолетам, максимальная дальность действия, зафиксированная протоколом испытаний для новой аппаратуры, была 8—10 км [19]. С учетом типа самолета это было близко к оценочным расчетам.

Протокол испытаний и акт приемки аппаратуры подписали от УПВО страны П. К. Ощепков, проф. Н. Н. Циклинский и др., со стороны ЭФИ академик А. А. Чернышев, Б. К. Шембель и Р. Р. Гаврук.

Итогом вышеописанных работ было следующее:

— большим количеством опытов была показана полная возможность реализации разведки самолета по его вторичному радиозлучению;

— решалась практическая задача надежного обнаружения самолета при перелете им охраняемой зоны при любых метеорологических условиях и любой возможной тогда высоте полета;

— для этих целей была разработана простая, дешевая и надежная аппаратура, построенная на базе существовавшей тогда аппаратуры связи.

Здесь хочется подчеркнуть, что, насколько можно судить по опубликованной литературе (США, Великобритания), акты испытания аппаратуры «Рapid» от 11 июля 1934 г. и от 5—11 марта 1935 г., а также протокол от 9 августа 1934 г. явились первыми в истории официальными документами об испытаниях аппаратуры, созданной специально для обнаружения самолетов с помощью радиоволн, — радиолокационной аппаратуры.

Работа созданной аппаратуры производила очень большое впечатление. Она ярко демонстрировала открывающиеся возможности нового метода, убеждала в его практической осуществимости и укрепляла уверенность в необходимости форсировать разработки этого нового направления техники.

В то же время аппаратура «Рapid» не решала поставленной задачи в полном объеме. Более того, нечеткость ее

работы при испытаниях 5—11 марта заставляла более внимательно рассмотреть весь вопрос. Словом, требовалась дальнейшая научно-исследовательская работа, к которой стремился и институт, но, к сожалению, как уже говорилось во введении, этими результатами и закончились разработки ЛЭФИ—ЭФИ для УПВО. Договор 1934 г. УПВО не был пролонгирован на 1935 г. и не был заключен новый. Вся разработанная аппаратура была передана П. К. Ощепкову.

Не суждено было и станции «Рapid» в то время занять свое почетное место в системе противовоздушной обороны страны. Только в 1939 г. (через пять лет после описанных опытов) на вооружение была принята предложенная Д. С. Стоговым (НИИС РККА) в 1937 г. система РУС-1 (радиоуправляемый самолет) — усовершенствованная аппаратура «Рapid». В ее комплект входили [3] генератор мощностью около 300 Вт на волне 4 м, модулированный звуковым тоном 800 Гц; передающая антенна с шестью полуволновыми вибраторами и несколько приемных устройств с супергетеродинными приемниками с узкополосными фильтрами на 800 Гц и модуляторами для записи принимаемых сигналов. Система отличалась от разработанной ЛЭФИ более выгодным расположением передающей и приемной аппаратуры (в линию вдоль защищаемой зоны). Было изготовлено 45 комплектов аппаратуры, которые во время Советско-Финляндской и Великой Отечественной войны применялись в системе ПВО Карельского перешейка, Дальнего Востока и Закавказья [3].

1935 год

Прекращение работ для УПВО по дальнейшему обнаружению самолетов дало возможность в 1935 г. сосредоточить усилия целиком на «радиопеленгаторе самолетов». На эту работу на 1935 г. А. А. Чернышевым был заключен договор с ГАУ. Работа имела шифр «Сталь». Технические условия на радиопеленгатор оставались прежними.

Успехи, достигнутые в 1934 г. при использовании эффекта Доплера на метровых волнах, оценочные расчеты дальности действия радиопеленгатора на сантиметровых волнах, о которых говорилось выше, вселяли уверенность в успешном решении поставленной задачи. Дело было за технической стороной. И, действительно, разработка нуж-

ной техники, хотя и потребовала больших усилий и напряженного труда, в 1935 г. была завершена успешно, и этот год оказался решающим в создании доплеровского радиопеленгатора.

Принятые принципы построения радиопеленгатора и многие технические решения элементов аппаратуры, разработанные в 1935 г., легли в основу дальнейших работ по доплеровским системам в НИИ-9 [3].

Кроме работ по радиопеленгатору, в 1935 г. велись также работы по импульсной радиолокации и измерению на модели вторичного поля самолета.

Надо сказать, что первая половина 1935 г. оказалась для сотрудников ЭФИ сложной. Уже с начала года возникли слухи о коренной реорганизации института, о смене руководства. И, действительно, в августе 1935 г. такая реорганизация произошла.

Ожидание назревающей реорганизации в атмосфере различных слухов и догадок делало уже с начала года обстановку в институте мало способствующей эффективной работе лабораторий. Некоторые сотрудники ушли в этот период из института, не дожидаясь официальных изменений. В частности, ведущий сотрудник нашей группы по работам для ГАУ В. В. Цымбалин в начале года ушел из ЭФИ в КБ, организованное П. К. Оценковым. Позже в этом КБ им была разработана мощная импульсная генераторная лампа, в дальнейшем использованная в первой импульсной радиолокационной станции Д. А. Рожанского и Ю. Б. Кобзарев (ЛФТИ). При реорганизации (точнее, ликвидации) ЭФИ в новый институт НИИ-9 основатель ЛЭФИ, бессменный директор и научный руководитель академик А. А. Чернышев переехал в Москву, где в Энергетическом институте Академии Наук СССР он работал все последние годы своей жизни (он умер 18 апреля 1940 г.).

Вместо А. А. Чернышева в НИИ-9 пришел новый директор — Николай Иванович Смирнов. Это был очень энергичный и прямой человек с широкими взглядами, однако директором он был недолго — всего два с небольшим года. При Н. И. Смирнове институт был материально укреплен. Была создана экспериментальная база в Островках на Неве, была существенно повышена заработная плата сотрудникам, улучшено их техническое и бытовое обеспечение и т. д. По тому времени условия для работы были созданы очень хорошие, как, например, организация питания сотрудников. В здании института была оборудована новая столовая. Был приглашен один из лучших шеф-поваров города. Сервировка столов, качество пищи, обслуживание обедающих соперничали с лучшими ресторанами Ленинграда, хотя стоимость обедов была невысокая, видимо, за счет государственной дотации. Те же, кто работал вечерами, получали бесплатный сытный ужин. Все это не шло ни в какое сравнение с питанием в нашей прежней столовой, ничем не отличавшейся от столовых других институтов и предприятий.

Тематика нового института не была похожа на тематику ЛЭФИ — ЭФИ. Исключение составляла лишь лаборатория стабилизации, которая продолжала работать над

теми же задачами по договорам, заключенным А. А. Чернышевым. Таким образом, новый институт не был преемником института Чернышева. Прежний Электрофизический институт перестал существовать, и память о нем стала постепенно исчезать, хотя вклад ЛЭФИ — ЭФИ в советскую науку и технику, особенно в начале их становления, совсем не мал и, несомненно, заслуживает достойного места в истории советской науки.

Вместе с Н. И. Смирновым в институт пришел его заместитель по науке — новый научный директор, известный ученый М. А. Бонч-Бруевич. В институте появились новые люди — руководители и сотрудники новых лабораторий. Среди них была большая группа, приехавшая из Москвы, из Всесоюзного электротехнического института. Это были профессор Б. А. Введенский (впоследствии академик), научные сотрудники М. А. Слюзберг, Е. Н. Майзельс и др.

В то же время многие ученые, возглавлявшие при А. А. Чернышеве крупные лаборатории, такие, как ил.-кор. АН СССР Д. А. Рожанский, проф. Н. Д. Папалекси, Ю. Б. Кобзарев и др. при реорганизации ушли в другие институты вместе со своими основными сотрудниками и со своей тематикой, которая не отвечала профилю вновь созданного института. Некоторые сотрудники ЛЭФИ — ЭФИ, как, например, профессор Ф. А. Миллер, ведущий сотрудник, основной участник работ по радиолокации 1934 г. А. И. Мержеевский не были переведены в новый институт и перешли на работу в другие учреждения. Д. А. Рожанский и Ю. Б. Кобзарев ушли в физико-технический институт, к А. Ф. Иоффе. Здесь в 1935 г. они начали разработку метода импульсной радиолокации для УПВО страны. Эти работы завершились впоследствии созданием первой советской импульсной радиолокационной станции.

Объективно ликвидация ЛЭФИ — ЭФИ сыграла отрицательную роль в развитии отечественной радиолокации, так как не объединила, а разъединила усилия ученых в этом направлении. В самом деле, в 1935, 1936 и 1937 гг. работы по радиолокации велись в двух, находящихся рядом институтах — НИИ-9 и ФТИ, но совершенно не были связаны между собой, хотя велись в обоих институтах бывшими сотрудниками ЛЭФИ — ЭФИ.

Отсутствие контакта между научными работниками обеих групп, решавшими одну и ту же задачу, по двум

разными методами, несомненно, привело к снижению эффективности работ каждой группы и в результате к снижению общего темпа разработок. Хотелось еще отметить, что все наиболее ранние результативные разработки в этой области в нашей стране были выполнены учеными и инженерами, работавшими в ЛЭФИ—ЭФИ до его ликвидации (Д. А. Рожанский, Ю. Б. Кобзарев, В. В. Цимбалин).

Несмотря на эти трудные для коллектива института времена, лаборатория продолжала упорно работать над заказом ГАУ.

Аппаратура «Сталь» и ее исследование

По договору с ГАУ ЭФИ обязывался разработать макет радиопеленгатора, проверить его действие по самолетам, чтобы в 1936 г. создать новый опытный — полевой. М. М. Лобанов уделил очень большое внимание этим работам, и весной 1935 г. он организовал посещение лаборатории Ю. К. Коровина в ЦРЛ сотрудниками ЭФИ, планировавшееся в 1934 г., но тогда не состоявшееся.

Аппаратура Ю. К. Коровина состояла из излучающей и приемной антенн с параболическими отражателями диаметром 2 м. Каждая из антенн была укреплена на своей подставке и могла поворачиваться вокруг горизонтальной и вертикальной осей. Антенны были разнесены на несколько метров друг от друга. Приемник и передатчик были собраны на лампах с тормозящим полем, хотя одновременно велись разработки магнетронного генератора. Передатчик модулирован звуковой частотой. Приемник — суперрегенеративного типа. Таким образом, метод регистрации отраженного сигнала в принципе совпадал с примененным ЭФИ в 1934 г. в работе «Рapid».

Обе антенны были направлены на расположенный в нескольких десятках метров излучатель вторичных волн, который представлял собой полуволновый вибратор, укрепленный по диаметру диэлектрического диска, посаженного на ось электромотора. Вращаясь, вибратор создавал вторичную волну, амплитуда которой и плоскость поляризации периодически менялись. Таким образом, сигнал звуковой частоты, принимаемый приемником, оказывался модулированным периодическим сигналом с частотой, вдвое большей частоты вращения вибратора. Такой метод исследования аппаратуры, ее калибровки и настройки был очень удобен. Он был перенят у Ю. К. Коровина и в дальнейшем широко использовался в ЭФИ—НИИ-9 при работе с различной аппаратурой по доплеровскому методу.

Ниже дается краткое описание работ по созданию макета радиопеленгатора и результатов его испытаний, составленное в основном по отчету ЭФИ—НИИ-9 за 1935 г. [20].

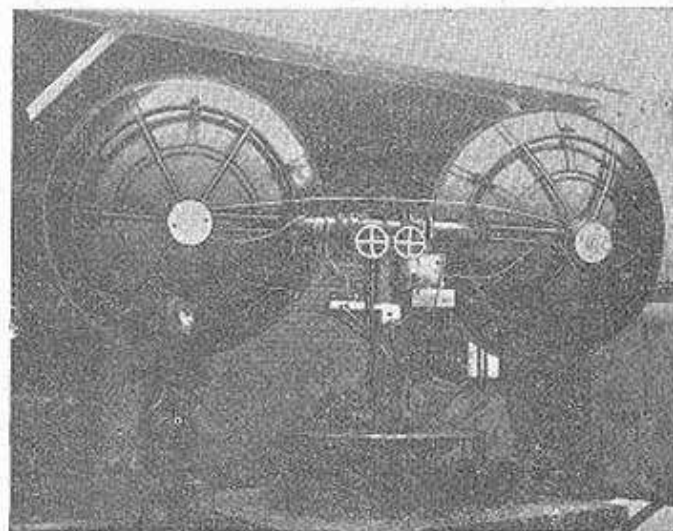


Рис. 7. Макет радиопеленгатора на крыше ЛЭФИ. Снимок 1935 г.

Эскизный проект макета радиопеленгатора, разработанный в 1934 г. В. В. Цимбалиным и А. Я. Гейманом, содержал в себе все основные элементы подобных систем (см. стр. 21). Макет 1935 г. в таком приближении не отличался от этого эскизного проекта, но являлся первой принципиальной и конструктивной проработкой подобных установок.

В начале года конструкторское бюро Опытного завода ЛЭФИ—ЭФИ начало проектирование макета. Одновременно в лаборатории велись разработки магнетронного генератора и приемника дециметровых волн.

Всю работу над макетом в лаборатории вели: студент-практикант Э. И. Голованевский и два техника: В. С. Федотов и М. С. Курилко. Бригаду монтажников Опытного завода ЛЭФИ возглавлял мастер Финогенов. Макет был смонтирован в начале лета. Его общий вид показан на рис. 7.

Алюминиевые отражатели антенн, укрепленные на каркасах, сваренных из стальных авиационных труб, в фокальной плоскости (плоскости раскрытия) имели диаметр 2 м. Расстояние между их центрами — 3 м. Высота центров над уровнем тележки — 2,25 м. Горизонтальная стальная труба имела диаметр 120 мм. Вращение

системы вокруг вертикальной оси происходило на подшипнике на вершине центральной вертикальной колонны, укрепленной на тележке. Тележка на колесах могла выкатываться из ангара для увеличения обзора при работе по самолету. Наблюдатель стоял на кольцевой скамье. На уровне его глаз — лимбы отсчета углов и оптический визир для наблюдения цели. Система уравновешена противовесом с грузом. Изменение углов пеленга производилось червячными передачами. На рис. 7 видны штурвалы этих передач: слева — передатчик, справа — приемник со своими пультами управления, установленными на кронштейне, подвешенном на горизонтальной трубе. Передатчик и приемник можно вынимать из патрубков отражателей вместе с их фидерами, полуволновыми вибраторами и контррефлекторами. На рис. 8 схематично показано расположение аппаратуры при ее наладке и исследовании. На расстоянии 100 метров от северо-западной стены крыла здания, где размещалась лаборатория, была расположена институтская радиомачта высотой 45 метров. На вершине этой мачты, а также на краю плоской крыши, на высоте около 3 метров над ней, были установлены вращающиеся вибраторы Ю. К. Коровина. Включение их электромоторов производилось из лаборатории.

Прием доплеровского сигнала

Увеличение чувствительности приемника радиолокатора вдвое эквивалентно увеличению мощности генератора вчетверо. В обозримые сроки не представлялось возмож-

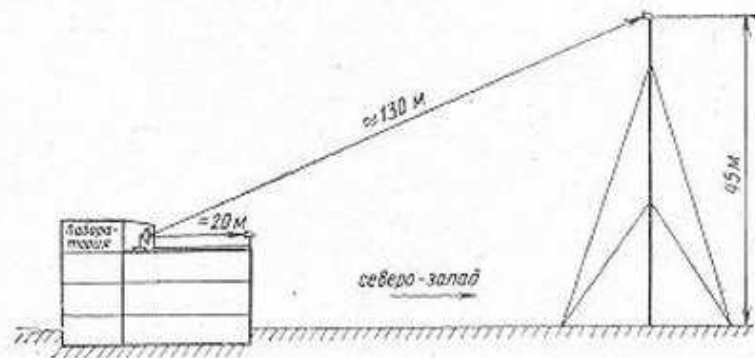


Рис. 8. Расположение аппаратуры при наладке радиопеленгатора.

ным получить от магнетронного генератора мощность, в несколько раз превышающую 10—15 Вт, которой располагала тогда лаборатория. В то же время в диапазоне сантиметровых и дециметровых волн приемная аппаратура была еще далека от совершенства. Поэтому было принято решение направить основные усилия на возможное усовершенствование приемника.

Сигнал на входе приемника доплеровского радиолокатора является суммой относительно сильного прямого сигнала и слабого, излученного целью. Последний имеет частоту, отличную от частоты прямого сигнала на доплеровский сдвиг, пропорциональный радиальной скорости самолета. Такой сумме в первом приближении эквивалентен прямой сигнал (несущая), слабо модулированный по амплитуде доплеровской частотой.

Величина прямого сигнала на входе приемника радиопеленгатора зависит от угла пеленга, так как в этом сигнале существуют компоненты, обусловленные отражением посылаемого передатчиком пеленгатора излучения от окружающих неподвижных предметов. Поэтому сигнал на входе приемника при работе по перемещающейся цели имеет меняющуюся амплитуду несущей.

Отсюда вытекает основное требование к приемнику пеленгатора: его чувствительность не должна зависеть от амплитуды несущей в возможно более широком динамическом диапазоне.

Из двух известных и применявшихся в то время в диапазоне ДЦВ типов приемников — суперрегенеративного и простого детекторного с последующим усилением на доплеровской частоте — был выбран последний по следующим причинам.

1. Суперрегенеративный приемник имеет высокий уровень собственных шумов. Если в опытах 1934 г. на метровых волнах, используя такой приемник, можно было уменьшить этот уровень шума применением узкополосного фильтра, то сейчас, работая на частотах, в 20 раз больших, этого сделать было нельзя — доплеровские частоты могли достигать 1000 Гц.

2. Чувствительность суперрегенеративного приемника к сигналу такого типа зависит от величины амплитуды несущей, убывая с ее возрастанием.

3. При прямом преобразовании входного сигнала детектор приемника работает в режиме первого детектора супергетеродина. При линейной характеристике этого де-

тектора чувствительность приемника к амплитуде модуляции в широких пределах не зависит от величины прямого сигнала, а при квадратичной она с ростом его даже увеличивается. Устойчивость работы такого приемника очень высока, хотя он и требует относительно большего усиления на доплеровских частотах.

Пришлось отказаться также от модуляции передатчика звуковым тоном, и вот почему:

1. В опытах 1934 г. применялась модуляция передатчика колебаниями с частотой 1 кГц. Это облегчало прием очень низких доплеровских частот, соответствующих работе на метровых волнах. Казалось, применив более высокую частоту модуляции, можно и в радиопеленгаторе улучшить селективные свойства приемника. Но так как модуляция магнетронного генератора по амплитуде одновременно вызывает сильную частотную модуляцию генерируемых им колебаний, что приводит к дополнительной помехе приему, сделать это в рассматриваемом случае было нельзя.

2. При модуляции амплитуды колебаний генератора, которая по необходимости должна быть достаточно глубокой, уже нельзя подобрать малощумящий режим работы генераторной лампы, т. е. снижается чувствительность аппаратуры.

3. На дециметровых волнах доплеровские частоты достаточно высоки, чтобы их легко было слышать в телефоны.

Как легко видеть, режим приемника в доплеровском радиопеленгаторе при относительно большом уровне прямого сигнала предъявляет очень высокие требования к величине собственной (паразитной) модуляции последнего.

Приемник

Для детектирования сигналов в диапазоне дециметровых и сантиметровых волн в то время использовались трехэлектродные лампы в режиме тормозящего поля. В таком режиме сетка лампы имеет большой положительный потенциал, а анод — потенциал, близкий к потенциалу катода. Электроны, эмиттированные катодом, сначала ускоряются в промежутке катод — сетка, а затем тормозятся в промежутке сетка — анод, образуя у поверхности анода виртуальный катод. В этих условиях ток сетки яв-

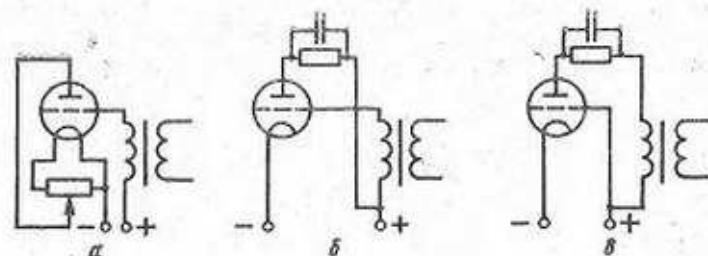


Рис. 9. Развитие схемы включения лампы с тормозящим полем, работающей в детекторном режиме.

ляется током насыщения промежутка сетка — катод. Ток же анода очень мал. Высокочастотный сигнал подается в таких лампах, как обычно, на сетку, но может подаваться и на анод. Лучшей лампой для этой цели тогда была лампа, разработанная еще в 1927—1928 гг. во Всесоюзном электротехническом институте (г. Москва) М. Т. Греховой. Лампа имела спиральную сетку, концы которой двумя параллельными проводниками выведены через верхнюю часть стеклянного баллона. К ним, уже снаружи, присоединялись стержни двухпроводной линии, изменением длины которых с помощью мостика производилась настройка на частоту принимаемого сигнала.

Распространенной схемой включения лампы была схема, показанная на рис. 9, а. Эффективность детектора при таком включении сильно зависит от напряжения накала лампы, так как им определяется потенциал анода, присоединенного к одному из концов нити катода. Чувствительность приемника с таким детектором оказывается весьма критичной к величине напряжения накала лампы. Это усложняет его настройку и эксплуатацию.

В 1933 г. Хольманом [21] была предложена схема рис. 9, б, в которой положительный потенциал подается на анод от сеточной батареи через очень большое сопротивление, зашунтированное емкостью. За счет падения напряжения на этом сопротивлении ток анода, а следовательно, и режим лампы как детектора поддерживались неизменными при значительных изменениях тока эмиссии. В наших приемниках при этой схеме ток анода менялся от 170 до 190 мкА при изменениях тока (эмиссии) сетки от 1 до 30 мА.

Но, хотя включение лампы по такой схеме и обеспечивало автоматическое поддержание режима, чувствительность приемника не возросла и по-прежнему ограничивалась уровнем шума шротт-эффекта насыщенного промежутка сетка — катод. Этот шум не позволял реализовать коэффициент усиления низкочастотного усилителя, больший 1000, что было недостаточно.

Но сумма токов сетки и анода равна току эмиссии катода, т. е. постоянной величине. Поэтому ток полезного сигнала детектора течет и в цепи анода, только в обратной фазе. На основе этого возникла мысль перенести выходной трансформатор из цепи сетки в цепь анода. Так как ток анода ограничен объемом зарядом виртуального катода, образующегося у его поверхности, и имеет значение на два порядка меньшее, чем ток сетки, при таком включении можно было рассчитывать на существенное понижение уровня собственных шумов детектора.

Действительно, включение трансформатора в цепь анода (см. рис. 9, в) при надлежащем согласовании его с внешними цепями практически исключило из состава помех шумы приемной лампы. Даже потом, когда коэффициент усиления был доведен до 1 млн, эти шумы не мешали приему.

На фотографии (рис. 10) показан приемник с фидером и приемным вибратором и контррефлектором вместе с пультом управления и контроля. В ящике помещен усилитель с коэффициентом усиления 39 000, регулируемый ступенями. Связь фидера с колебательной системой лампы емкостная, с помощью двух упругих металлических полосок на концах фидера. Полоски можно было удалять или приближать к контуру лампы с помощью эксцентрикового устройства и тем самым изменять связь.

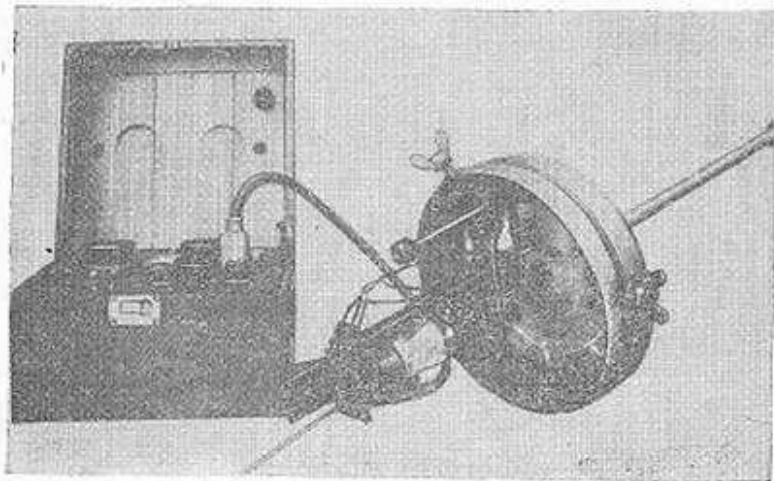


Рис. 10. Приемная головка макета радиопередатчика 1935 г.

Передатчик

При разработке генератора для передатчика довольно скоро пришлось убедиться, что на изготовленных в 1934 г. магнетронах не удается получить устойчивой работы. Длина волны также не получалась достаточно малой при необходимой мощности. Такие же результаты получились при попытке использовать магнетроны, разработанные Ю. К. Коровичем. Они отличались от разработанных В. В. Цимбалыным в 1934 г. отсутствием внутреннего контура, который фиксировал длину волны. Анод этого магнетрона имел диаметр всего 2 мм. Это позволило разработчикам настолько уменьшить емкость между его двумя сегментами, что от них можно было сделать прямые выводы через впаив в баллон и создать внешний настраиваемый контур. Но малый диаметр анода требовал большого магнитного поля, а сам анод работал в довольно форсированном тепловом режиме. Изготавливались эти лампы в Ленинградском электротехническом институте (ЛЭТИ) в лаборатории проф. А. А. Шапошникова. Они были лучше магнетронов ЛЭФИ, но также показали неустойчивую работу, сильно «шумели», обладали склонностью к «вспышке» катода, в результате которой лампа часто гнила.

В 1934 г. в литературе появились сведения о четырехсегментных магнетронах, разработанных фирмой «Телефункен». По этим сведениям, такие лампы обладали приемлемыми для нас характеристиками — длиной волны, мощностью. Поскольку они рекламировались авторитетной фирмой, вынужденной их серийно, целесообразно было изготовить и исследовать эти лампы.

Опыт, полученный при изготовлении двухсегментных магнетронов, показал, что качественные показатели ламп в



Рис. 11. Марк Давидович Гуревич.

щей большой степени зависят от качества монтажа и технологии их изготовления. Существовавшие в ЛЭФИ вакуумные мастерские, перегруженные различными заказами, не могли обеспечить выполнения необходимых требований. Поэтому еще в конце 1934 г. было решено создать при лаборатории небольшую специализированную электровакуумную мастерскую, на что А. А. Чернышев дал согласие.

Эту лабораторную электровакуумную мастерскую возглавил М. Д. Гуревич (младший) — студент 3-го курса вечернего факультета ЛЭФИ, очень способный, инициативный и требовательный работник. Под его руководством небольшая группа сотрудников очень быстро наладила качественную сборку, обработку и откачку новых ламп — четырехсегментных магнетронов и приемных ламп типа М. Т. Греховой. Благодаря очень аккуратной, точной сборке и отличной вакуумной гигиене и технологии это были действительно очень хорошие лампы.

Новые магнетроны оказались несравненно лучше прежних двухсегментных. Они легко отдавали в нагрузку мощность 8—15 Вт на волнах 21—29 см, что было вполне приемлемо.

Эти магнетроны (рис. 12) имели анод диаметром 5 мм и длиной 10 мм. Они работали при анодном напряжении 900—1200 В и требовали магнитного поля величиной 0,085—0,110 Т, т. е. вдвое меньше необходимого для прежних ламп. Так как диаметр их стеклянного баллона был таким же, как и у последних, то мощность, потребляемая электромагнитом, уменьшалась при новых лампах вчетверо. Работали лампы очень устойчиво, «вспышек» катода почти не наблюдалось.

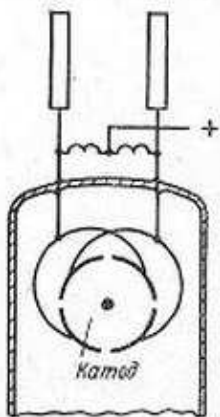


Рис. 12. Четырехсегментный магнетрон.

В отличие от двухсегментных новые лампы могли генерировать при заданном магнитном поле лишь в узком диапазоне волн. Средний к. п. д. генератора на этих лампах был порядка 35—45%.

К концу 1935 г. было изготовлено около 50 ламп. Все они были достаточно однотипными, а потому замена их в аппаратуре не приводила к существенной ее перестройке. Срок службы ламп превышал 50 ч.

Так же, как и прежние лампы, эти лампы генерировали собственные шумы, но, изменяя ток накала, магнитное поле, анодное напряжение, всегда можно было получить устойчивый бесшумный, точнее, малошумящий режим. Такой режим получался примерно в

средние модуляционные характеристики генератора. Эти четырехсегментные магнетроны явились несомненным шагом вперед. После их освоения не могло быть и речи о возвращении к двухсегментным. Более того, по своим внешним колебательным высокочастотным цепям они являлись как бы переходной ступенью к современным многосегментным, многорезонаторным лампам. Так же, как и в последних, как видно на рис. 12, их однополярные сегменты анода соединялись перемычками, но имели общий колебательный контур, а не четыре отдельных, как это сделано в современных магнетронах и как это впервые сделали через несколько лет в том же НИИ-9 Н. Ф. Алексеев и Д. Е. Мальяров.

К сожалению, эта лабораторная электровакуумная мастерская просуществовала лишь до осени 1935 г., т. е. один год. Новое руководство института передало ее снова в состав общенинститутской электровакуумной лаборатории, главной задачей которой была разработка мощных генераторных ламп для работ по новой тематике. Руководитель группы М. Д. Гуревич (младший) был переведен в другое подразделение института и уже не имел отношения к работам лаборатории. Таким образом, по электровакуумным приборам лаборатория оказалась в том же положении, в каком была до осени 1934 г.

В институтской вакуумной лаборатории к производству ламп, нужных для работ лаборатории стабилизации, приступили только в 1937 г. и качество их оказалось более низким, чем прежних,

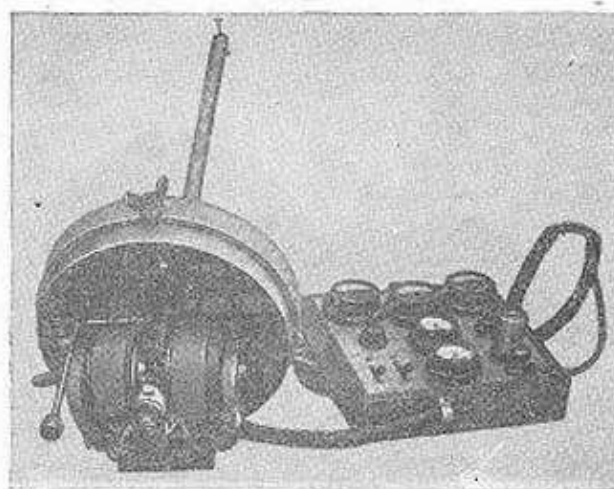


Рис. 13. Передающая головка макета радиопередатчика 1935 г.

так как вакуумная лаборатория только училась их делать. К счастью, запас ранее изготовленных ламп и их большой срок службы позволили успешно провести все работы 1936 г.

В новых лампах оказалось возможным сделать колебательный контур генератора в виде двухпроводной линии с электрической длиной, кратной $\lambda/2$, пропустив выводы от анодов через баллон вблизи узла напряжения. Металлическими трубками, надетыми на молибденовые проволочки выводов, можно было настроить эту колебательную систему на нужную волну. Анодное напряжение подавалось на аноды лампы через дроссели, концы которых были приварены к молибденовым проволочкам выводов в узле напряжения, т. е. вблизи баллона.

Связь колебательной системы с двухпроводной фидерной линией, питающей излучающий вибратор, была емкостная. Для ее осуществления так же, как и в приемнике, где колебательная система была аналогичной, на концы фидерной линии были напаяны узкие (2,5 мм) бронзовые полоски длиной 20—30 мм, которые для регулировки связи можно было приближать к открытым концам колебательной системы или удалять от нее с помощью механического привода. Электромагнит имел на каждой катушке по 1600 ватков и давал нужное поле при токе 1 А. Для этого требовалось напряжение 12 В, т. е. мощность 12 Вт.

На фото рис. 13 показан передатчик в собранном виде с пультом управления и контроля.

Огладка аппаратуры и ее исследование

Фидерные и антенные системы передатчика и приемника были, как уже говорилось, идентичными. Симметрия приемного и излучающего вибраторов и ламп определила выбор также симметричного двухпроводного фидера связи между ними. Он был выполнен из медных стержней диаметром 2,5 мм, укрепленных на эбонитовых изоляторах в трубке-экране из алюминия диаметром 18 мм. Полная длина фидера 675 мм.

Излучающий и приемный вибраторы на волне 24—25 см имели длину 120 мм. В дальнейшем были использованы вибраторы, немного укороченные дисками диаметром 12,5 мм, насаженными на их концы; длина их была 75 мм.

Для уменьшения доли энергии, излучаемой вибратором в переднюю полусферу, испытывались контррефлекторы как в виде полусфер, так и в виде удлиненных вибраторов. Был выбран последний вариант как более простой. Контррефлектор длиной 130 мм дал увеличение мощности в максимуме диаграммы направленности антенны радиопеленгатора в отношении 125/70. В этих условиях на волне длиной 25,5 см основное излучение передающей антенны лежало в пределах угла диаграммы направленности около $\pm 5^\circ$, на волне 24 см этот угол был около $\pm 4^\circ$.

Для юстировки параллельности осей диаграмм направленности обеих антенн был применен вращающийся вибратор Ю. К. Коро-

вина, установленный на расстоянии 17,5 м от пеленгатора, а приемная и передающая головки по очереди вынимались из патрубков и устанавливались под своими ограничителями неподвижно. При этих условиях путем поворота пеленгатора по азимуту для каждой антенны снималась диаграмма направленности.

Так как оси антенн разнесены на 3 м, то при расстоянии до диполя 17,5 м максимумы полученных таким образом диаграмм должны быть смещены по азимуту на $10,5^\circ$. Юстировкой антенн по азимуту до получения этого угла и по углу места — до совмещения максимумов, достигалась параллельность их осей.

Как уже говорилось, собственный шум приемника по новой схеме, а также собственный шум магнетронного генератора были сведены к очень малым величинам. Но тогда наиболее неприятной помехой стали микрофонные эффекты приемной и генераторной лампы. К сожалению, принцип приема без преобразования частот не давал возможности обойти эту трудность. Поэтому пришлось использовать единственный возможный путь — улучшение механической амортизации приемной и генераторной лампы, что потребовало большой и кропотливой конструктивной переработки обеих головок. В результате величина микрофонного эффекта была сильно снижена, но, конечно, полностью он не был устранен.

Далее пришлось столкнуться с помехами от различного рода плохих контактов, причем не только в электрических цепях питания и в отдельных механических узлах установки, но которым протекали наведенные токи высокой частоты. Чувствительность аппаратуры к плохим контактам в оборудовании была очень велика. Так, например, наблюдатель, в кармане которого была связка ключей, не мог работать на установке: в телефоне приемника появлялись шорох и треск. Будильник, находившийся в соседней комнате, давал громкие и отчетливые щелчки в такт своему ходу. Днем, когда здание института вибрировало от работающего в нем оборудования различного рода, нельзя было работать при полном усилении приемника; оно должно было быть снижено по крайней мере на порядок.

Когда все указанные помехи, а также помехи от источников питания (выпрямитель) были в достаточной степени уменьшены и эксперимент велся в институте по окончании рабочего дня, оказалось возможным довести усиление до $0,5 \cdot 10^6$. Этому усилению по проведенным измерениям соответствовала чувствительность приемника в десятые доли микровольта. Даже в этих условиях не наблюдалось особой критичности в подборе режима генератора, его шум всегда и легко можно было сделать незаметным.

При уменьшении угла места установки шумы несколько возрастали из-за увеличения амплитуды прямого сигнала, к которому добавлялись отраженные компоненты, но могли возрастать и из-за модуляции этих компонентов. При различных коэффициентах усиления оптимальные условия приема менялись, что указывало на нелинейность характеристики детекторной лампы.

Так, при усилении 10^3 и при угле места 30° прямой сигнал на приемнике оказывался недостаточным — вибратор на вершине радиомачты не был слышен. Пришлось установить специальную коаксиальную линию связи (видна на рис. 7) для подачи дополнительного прямого сигнала на приемник от передатчика. При увеличении усиления до $39 \cdot 10^3$ падность в этой линии отпала, а при усилении $400 \cdot 10^3$ прямой сигнал был чересчур велик и без нее. Но все же ограничивающим фактором был не шум ламп, а их микрофонный эффект.

В дальнейшем работа велась при усилении не более $40 \cdot 10^3$, когда чувствительность приемника измерялась единицами микровольт на приемной антенне*. При такой чувствительности вибратор на радиомачте был слышен вполне хорошо даже при закрытых деревянных (фанера) дверях ангара. Интенсивность сигнала на выходе приемника измерялась ламповым вольтметром.

Теперь аппаратура оказалась способной регистрировать не только вращающийся вибратор, но и другие естественные объекты. Так, можно было «слышать» полет птиц. Ласточка, летавшая в районе вершины радиомачты или ближе, регистрировалась прибором совершенно отчетливо. Это была уже не модуляция электромагнитного поля вращающимся вибратором, а эффект Доплера. Частота слышимого при этом в телефонах сигнала менялась в зависимости от «курса» птицы, но была не выше 25 Гц, т. е. лежала в том диапазоне, где чувствительность приемника была меньше нормальной. Частоте 25 Гц соответствовала радиальная скорость полета птицы менее 5 м/с.

Вторым эффектом, обнаруженным в этих опытах, были шорохи и трески в телефонах, когда луч установки направлялся на металлический объект с плохими электрическими контактами. Так, в одной точке заросшей травой территории, расположенной перед зданием ЭФИ, при ветре четко прослушивался этот шум и треск. Обследование этого места показало, что здесь лежит скрытое травой ржавое железо. При ветре плохие контакты обнаруживались и в проводах проходившей недалеко телефонной линии связи**.

* Чувствительность приемника современного типового импульсного радиолокатора 10—20 мкВ.

** Такая работа аппаратуры создавала у автора ощущение обладания новым органом чувств. В самом деле, с помощью направленного радиолуча можно было «слышать» явления, которые наблюдались только зрительно (полет птицы) или которые никак себя не проявляли (плохие контакты).

После отладки аппаратуры и проверки на чувствительность можно было проводить ее испытания по самолету, т. е. по реальному объекту ее применения. Эти испытания должны были дать ответ на главный вопрос — какова же дальность действия разработанного макета? Можно ли положить его в основу дальнейших работ?

Получить самолет, несмотря на усилия М. М. Лобанова, было не так просто: различные причины (в основном нелетняя погода) мешали этому. И, хотя аппаратура была готова в середине лета 1935 г., только 22 октября удалось провести ее испытания.

День был пасмурный. Видимость была очень ограниченной из-за низких облаков. Самолет должен был летать на высоте около 1 км вдоль Ольгинской улицы, параллельной юго-западному крылу здания ЭФИ, оставаясь, таким образом, при своем полете в пределах угла обзора аппаратуры.

Время прихода самолета было известно ориентировочно и у радиопеленгатора дежурили, периодически проверяя его готовность по вращающемуся диполу на вершине радиомачты. Самолета долго не было. Наконец, послышался его шум, а затем стал виден и он сам.

Испытываемая аппаратура была еще несовершенна в механическом отношении, обладала большой инерцией. Поэтому трудно было следить за самолетом при большой скорости изменения координатных углов. Несмотря на это, эффект отражения был обнаружен немедленно — появился сильный доплеровский сигнал. Самолет почти сразу же исчез в облаках, однако звук в телефоне оставался, и можно было следить за полетом, наводя аппарат при помощи штурвалов на максимум слышимости. Это была уже пеленгация и сопровождение невидимой движущейся цели при помощи вторичных радиоволн. По мере удаления самолета становилось легче работать, так как углы менялись медленнее, тон звукового сигнала постепенно повышался и довольно быстро достиг 300—400 Гц, что соответствовало скорости самолета 120—150 км/ч. Это отвечало типу самолета (У2).

Между моментом появления самолета над зданием института и исчезновением слышимости сигнала из-за его ослабления прошло около 3 мин, что соответствовало расстоянию 6—8 км, а расчет по углу места и высоте полета показал расстояние до самолета 3—5 км. Самолет сделал только один залет и, по-видимому из-за плохой погоды, ушел и больше не появлялся. Однако опыт удался. Он прошел четко и уверенно.

Попытка оценить во время опыта возможную ошибку угла пеленга показала, что эта ошибка не выходит за пределы $2-3^\circ$, что соответствовало характеристике направленности антенной системы макета.

При испытаниях было замечено, что, во-первых, сила сигнала не была постоянной, особенно вначале, когда при быстром изменении угла изменялась интенсивность вторичного излучения самолета.

та. И во-вторых наблюдались хаотические вариации высоты тона доплеровской частоты, причем тем более глубокие, чем дальше уходил самолет. Это не могло быть вызвано изменениями скорости самолета и являлось результатом нестабильности частоты магнетронного генератора, когда на доплеровский сдвиг частоты накладывалось ее изменение из-за модуляции фазового набега волны на пути до самолета и обратно. Эти вариации тона были неглубокими и низкочастотными, поэтому они могли быть замечены только при наличии доплеровского сигнала, т. е. при работе по движущейся цели.

Таким образом, 22 октября 1935 г. была осуществлена радиопеленгация и сопровождение самолета на расстояниях 5—8 км с помощью доплеровского радиопеленгатора, работавшего на волне 25 см при мощности излучения около 8 Вт. Отсюда следовал вывод, что испытанный макет радиопеленгатора можно было положить в основу дальнейших разработок. Это был главный результат работ 1935 г.

В Научно-техническом журнале ГАУ № 0202 от 31 мая 1936 г. записаны результаты обсуждения представленного отчета по работе «Сталь». В этом журнале говорится [22]: «Опытами ЛЭФИ подтверждена окончательная принципиальная возможность пеленгации самолетов сантиметровыми волнами.

— Получены весьма ценные, хотя и не строго подтвержденные результаты о дальности действия».

Далее в постановлении:

« — Отчет ЛЭФИ утвердить, отметив весьма положительную работу ЛЭФИ в разрешении поставленной задачи радиопеленгации самолетов.

— Считать совершенно необходимым определение дальности действия опытного макета 1935 года по самолетам Р-5 и ТБ в июне этого года». К сожалению, эти опыты так и не состоялись.

Полный отчет по работе «Сталь» 3 апреля 1936 г. был выслан в г. Горький Ю. К. Коровину для ознакомления.

Результаты работ 1935 г. наряду с результатами 1934 г. позволили сделать совершенно четкий вывод о том, что метод разведки самолетов с помощью радиоволн может быть реализован и способен решать практические задачи как для нужд ПВО, так и для зенитной артиллерии.

Результаты работ ЛЭФИ этих лет заставили пересмотреть свое отношение к проблеме многих из тех ученых, которые ранее относились к ней скептически и даже отрицательно.

Другие работы 1935 г.

Полярная диаграмма вторичного радионизлучения самолета

В 1935 г. летом Р. Р. Гавруком были произведены первые измерения полярной диаграммы вторичного радионизлучения самолета. Эти измерения, как уже говорилось, были задуманы еще в 1934 г. в связи с работами для УПВО страны, но тогда выполнены не были. На базе разработанной аппаратуры дециметрового диапазона эти измерения стали возможными.

Измерения производились на волнах 20—25 см на плоской крыше здания ЭФИ на модели самолета, сделанной в Ленинградских мастерских Оссовнахима из дерева и оклеенной металлической фольгой. Это была модель моноплана с фюзеляжем длиной около 60 см. Модель подвешивалась на хлопчатобумажных нитях на достаточной высоте над крышей здания. На расстоянии в несколько метров был установлен направленный излучатель, а между моделью и этим излучателем на той же прямой — приемный вибратор с детектором. Прибор, измеряющий ток детектора, градуировался по величине сигнала.

Затем, перемещением модели в направлении передатчик — приемник, производимым с помощью хлопчатобумажной нити, измеряли коэффициент стоячей волны в пространстве. Зная расстояния, можно было определить относительную величину вторичного сигнала для данного угла к осям самолета. Затем ориентация модели изменялась на заданный угол. Таким способом были сняты пространственные диаграммы направленности вторичного радионизлучения для нескольких длин волн.

Так как размер модели самолета был лишь в два-три раза больше длины волны, то эти измерения давали результаты, пригодные для радиобнаружения на метровых волнах, а не для радиопеленгаторов. Все же полученные результаты были интересны: из диаграммы можно было видеть, что сигнал вторичного радионизлучения даже при таких соотношениях размера самолета и длины волны меняется в зависимости от угла в очень больших пределах и очень резко, а при определенных углах может быть равным нулю*.

* К сожалению, отчет по этой работе в архивных материалах пока не обнаружен.

Работы по импульсному методу радиообнаружения самолетов

Как уже было сказано выше, вторым методом обнаружения самолетов с помощью радиоволн был импульсный. Были также приведены мотивы, почему в начале 1934 г. был выбран доплеровский метод с непрерывным излучением. Сильные шумовые помехи приема, вызванные отражениями прямой волны от окружающих предметов, обнаруженные при последних испытаниях аппаратуры «Рапид», хотя и настораживали, но не казались непреодолимыми.

Все же вопрос о выборе метода неоднократно обсуждался в лаборатории. Эти дискуссии, однако, не привели к какому-либо однозначным выводам: слишком много было вопросов, на которые не было ответов. Поэтому казалось разумным разрабатывать оба метода. И в начале 1935 г. в лаборатории наряду с разработками непрерывного метода были начаты разработки импульсного. Эти разработки возглавил М. Д. Гуревич (старший).

Задачи, которые при этом возникали, были ясны: это генерация коротких высоковольтных импульсов источником питания, разработка достаточно мощной импульсной генераторной лампы, разработка широкополосного приемника и быстродействующего осциллографа для наблюдения сигналов.

Поскольку в КБ экспериментальных мастерских ЛЭФИ в это время разрабатывалась конструкция параболических отражателей для макета радиопеленгатора, было решено присоединить к этому заказу и заказ на отражатели для импульсной аппаратуры. Она была изготовлена одновременно с макетом, т. е. к лету 1935 г.

В отличие от доплеровской аппаратуры радиопеленгатора, которая проектировалась для работы по движущимся целям — самолетам, аппаратуру импульсной установки было решено делать проще,

как стационарную, потому что для начальной стадии разработок и для работы по неподвижным объектам этого было вполне достаточно.

Изготовленные по заказу ЭФИ отражатели имели диаметр 1 м или несколько больше. Каждый из них имел свою подставку, обеспечивающую возможность установки оси антенны в желаемом направлении. К основаниям параболических отражателей были прикреплены кронштейны, на которых можно было крепить передающую или приемную аппаратуру.

Когда были начаты эти работы, а это было самое начало 1935 г., еще не было четырехсегментных магнетронов — они только разрабатывались в лаборатории. Поэтому был использован магнетрон из серии двухсегментных ламп разработки В. В. Цимбалюка и А. Я. Геймана (1934 г.) с внутренним колебательным контуром, генерировавший колебания длиной волны ≈ 70 см.



Рис. 14. Моисей Давидович Гуревич.

Чтобы скорее начать опыты, разрабатывать импульсный источник питания и импульсный магнетрон не стали: это были не первоочередные задачи и, конечно, в то время непростые. Задача получения очень коротких посылок высокочастотных колебаний для первых опытов была решена по идее М. Д. Гуревича очень просто. Было использовано жесткое возбуждение колебаний в магнетронном генераторе. Если в цепь анодного питания лампы включить большое сопротивление, а саму лампу зашунтировать конденсатором с емкостью подходящей величины, то возникнут релаксационные колебания, при которых магнетрон будет генерировать короткие посылки высокочастотных импульсов.

Так удалось получить посылки длительностью порядка 1 мкс. При этих опытах мы не форсировали режим генератора, и его мощность в импульсе не превышала мощности в непрерывном режиме.

Лабораторный электронно-лучевой осциллограф имел слишком медленные развертки, выполняемые на тиратронах, выпускавшихся в то время промышленностью. Поэтому М. Д. Гуревич изготовил для этой цели гелиевый тиратрон с вольфрамовым катодом, который позволил довести скорость развертки до такой величины, когда можно было наблюдать детектированный импульс высокочастотных колебаний. Развертка синхронизировалась сигналом от анодной цепи магнетронного генератора.

В приемнике была использована лампа с тормозящим полем в регенеративном режиме. Усилитель — резисторный двух- или трехкаскадный. В опытах с этой аппаратурой в качестве отражающего объекта служил лес — сосновая роща, расположенная на расстоянии около 300—400 м от места установки аппаратуры. Передатчик и приемник в опытах располагались рядом у широкого окна лаборатории, обращенного к лесу.

Наличие отраженного сигнала регистрировалось на экране осциллографа упрямным в сторону запаздывания изображением детектированного импульса передатчика. Таким образом, аппаратура обладала необходимым временным разрешением, но, конечно, ни по своей мощности, ни по чувствительности приемника не была пригодна для обнаружения такого объекта, как самолет.

Летом 1935 г., когда ЭФИ перестал существовать и возник НИИ-9, дирекция этого института, организуя работы по своей тематике, сочла работы по импульсному методу менее важными и менее перспективными, чем работы нового плана, и перевела на них сотрудников лаборатории, занимавшихся импульсным методом. Вполне возможно, что это решение в какой-то мере основывалось и на том, что лаборатория не смогла тогда продемонстрировать на импульсной аппаратуре столь эффективные результаты, как на непрерывной.

1936 год

В конце 1935 г. в лаборатории было организовано свое конструкторское бюро. Основой его стали два опытных конструктора — А. Н. Пекный, пришедший сюда из КБ опытного завода института и имевший уже опыт констру-



Рис. 15. Карл Иосифович Тресс.

ирования узлов макета радиопеленгатора 1935 г., и К. И. Тресс, принятый вновь. Обоих можно характеризовать с самой лучшей стороны. Аппаратура всех установок 1936 и 1937 гг. была спроектирована ими, и не было оснований жаловаться на найденные ими конструктивные решения.

В 1934 г. в ЛЭФИ в руководимую автором лабораторию были приглашены на преддипломную практику и дипломную работу несколько способных студентов. Двоим из них — Э. И. Голованевскому и Л. Ю. Блюмбергу — было предложено остаться в лаборатории после окончания института.

В течение всего 1936 г. лаборатория продолжала пополняться. В частности, где-то в середине года был принят на работу инженер В. А. Троицко, ранее работавший у Ю. К. Коровина, но не уехавший с ним в Горький. Он участвовал в наладке новой аппаратуры «Буря», но, к сожалению, вскоре ушел из ЭФИ.

В том же 1936 г. развернулись работы по созданию институтской экспериментальной базы в Островках на Неве. И если в 1935 г. можно было целиком отдавать свое время работе в лаборатории, то в 1936 г. приходилось значительное время уделять организационным вопросам, связанным с этим строительством. Особенно почувствовалось это осенью, когда потребовались частые поездки в Островки на выделенную лаборатория площадку для контроля за строительством объектов.

Работы по радиолокации в 1936 г. велись в лаборатории в двух направлениях:

1. По договору с ГАУ к июню нужно было изготовить опытный радиопеленгатор самолетов, приспособленный для полевых испытаний, а также и участвовать в проведении их на Научно-испытательном зенитном полигоне (НИЗП).

2. По договору с Научно-исследовательским морским институтом связи (НИМИС) требовалось проверить возможность обнаружения кораблей и, в первую очередь, торпедных катеров по вторичному радионизлучению. Для этого следовало разработать и изготовить аппаратуру, провести ее испытания, составить отчет и передать его вместе с аппаратурой в НИМИС. Обе эти работы были успешно выполнены в поставленные сроки.

Радиопеленгатор «Буря»

При проектировании опытного радиопеленгатора надо было исходить из того, что эта аппаратура подвижная, а не стационарная, что она должна быть вполне транспортабельной при заданных габаритах и иметь автономное питание, узлы ее должны обладать необходимой герметичностью, что обеспечивало бы возможность работы при большой влажности, механическая амортизация приемной и передающей головок должна быть высокой и т. д., и т. п. Кроме того, ее механические приводы не должны требовать больших усилий при работе (особенно при ветре), наблюдателю должно быть легко и удобно работать. Исходя из этого, всю конструкцию макета 1935 г. надлежало полностью пересмотреть и разработать совершенно новую, существенно улучшенную.

При обсуждении этих вопросов М. М. Лобанов предложил использовать для новой установки тележку и всю кинематическую часть от звукоулавливателя*. Это было очень правильное и разумное предложение, так как давало в руки наиболее оптимальное решение. Звукоулавливатели были очень хорошо разработаны для полевых условий работы и обеспечивали наблюдателю максимум оперативности и удобств. В этом случае нужно было решать только специфические задачи и именно на них сосредоточить свое внимание и усилия. Конструкторы К. И. Тресс и А. Н. Пекный обеспечивали выполнение этой работы хорошо и быстро.

Конструкция параболических отражателей была существенно улучшена; отражатели получились прочными и легкими. Масса одного двухметрового отражателя составила 34 кг, что существенно снизило инерционность установки, облегчило работу на ней. В отличие от макета 1935 г., в новой установке оси генераторной и приемной ламы были повернуты вниз на 90° по отношению к осям параболоидов. Это упростило конструкцию и облегчило доступ к элементам генератора и приемника. На рис. 16 показаны фотографии новых головок [24]. Литье алюминиевые кожухи с крышками обеспечивали хорошую герметичность и экранировку. Специальные фильтры в цепях питания уменьшали прохождение прямого сигнала по про-

* Интересно отметить, что первая опытная РЛС для зенитной артиллерии в США была создана в 1937 г. также на основе кинематики звукоулавливателя [34].

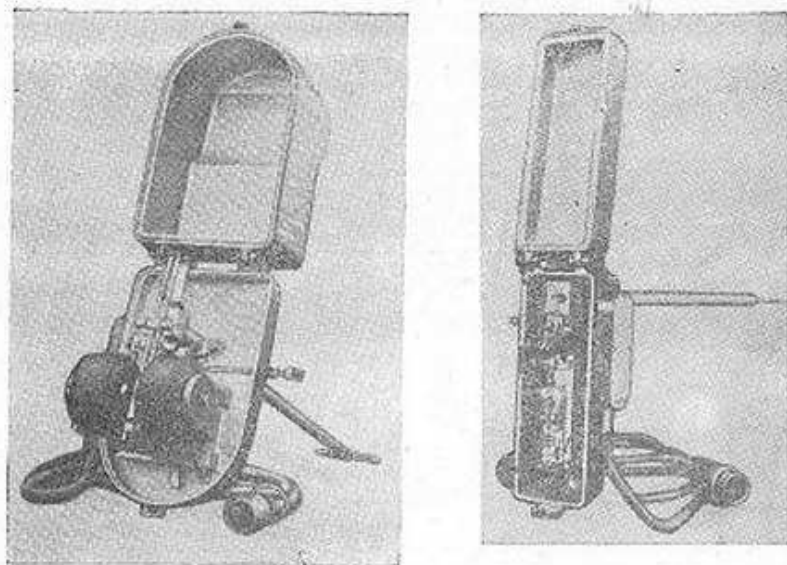


Рис. 16. Передающая (слева) и приемная (справа) головки радиопеленгатора «Буря».

водам. Была существенно улучшена амортизация и генератора и приемника. Настройка колебательной системы приемника могла производиться оперативно и плавно.

Питание цепей накала и магнита передатчика осуществлялось от щелочных аккумуляторов, анодное — от сухих батарей; также от сухих батарей осуществлялось питание анодных цепей приемника. Все сухие батареи размещались в двух ящиках, расположенных на тележке пеленгатора.

На рис. 17, на котором показан общий вид радиопеленгатора «Буря», видны два ящика с батареями, блок управления и контроля всеми цепями. В нем же расположен усилитель. Для уменьшения микрофонного эффекта от ветра обе головки помещены в чехлы из толстого сукна.

Кинематика звукоулавливателя действительно оказалась очень удобной. Благодаря относительно большому передаточному числу системы приводов, легкости и хорошей балансировке системы изменение углов пеленга достигалось свободным поворотом штурвала, следить за целью было легко, тем более, что наблюдатель на своем сиденье поворачивался по азимуту вместе со всем устройством.

На рис. 18 приведена полная электрическая принципиальная схема пеленгатора «Буря» [24].

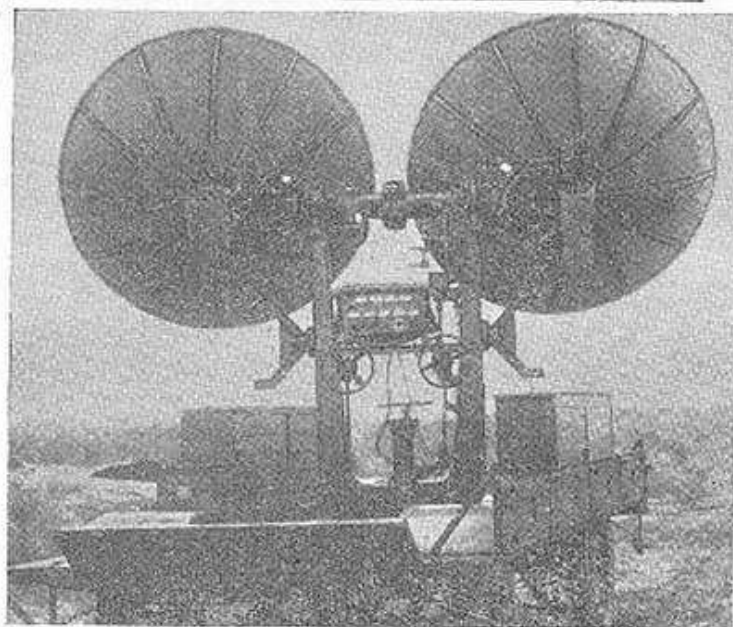
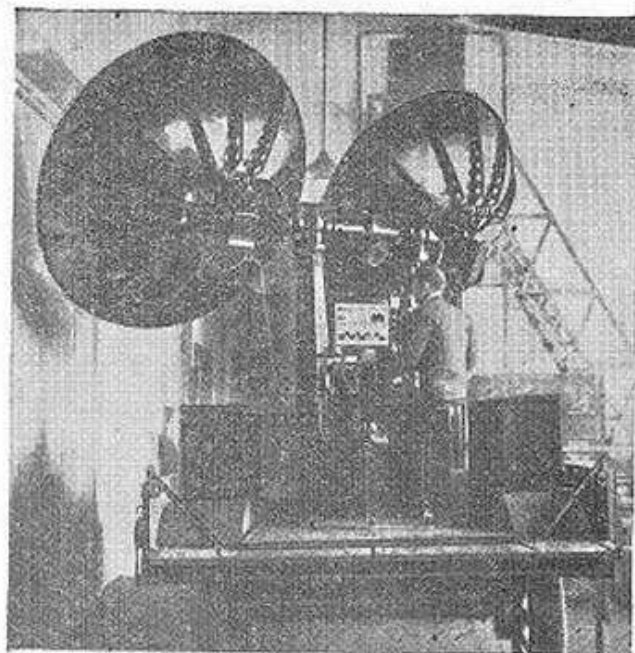


Рис. 17. Радиопеленгатор «Буря» после сборки в ЭФИ (вверху) и при исследованиях на полигоне (внизу).

Длину волны колебаний, генерируемых передатчиком (см. рис. 18), можно было менять в пределах от 21 до 23 см, перемещая короткозамыкающий мостик на двухпроводной линии, образующей колебательную систему магнетронного генератора. Связь контура генератора с фидером излучателя осуществлялась так же, как и в макете 1935 г., с помощью гибких бронзовых полосок. Мощность излучения контролировалась при помощи укороченного диполя, установленного внутри передающего отражателя вблизи его задней стенки (см. рис. 18). Ток в диполе измерялся при помощи термопреобразователя, милливольтметр которого был установлен на передней панели блока управления и контроля. На этой же панели были размещены приборы для контроля: анодного напряжения магнетрона (1200—1500 В), его анодного тока (30—50 мА), тока накала лампы (4,7—5,0 А), тока в обмотках электромагнита (2,1—2,4 А), а также рукоятки реостатов для регулировки двух последних токов.

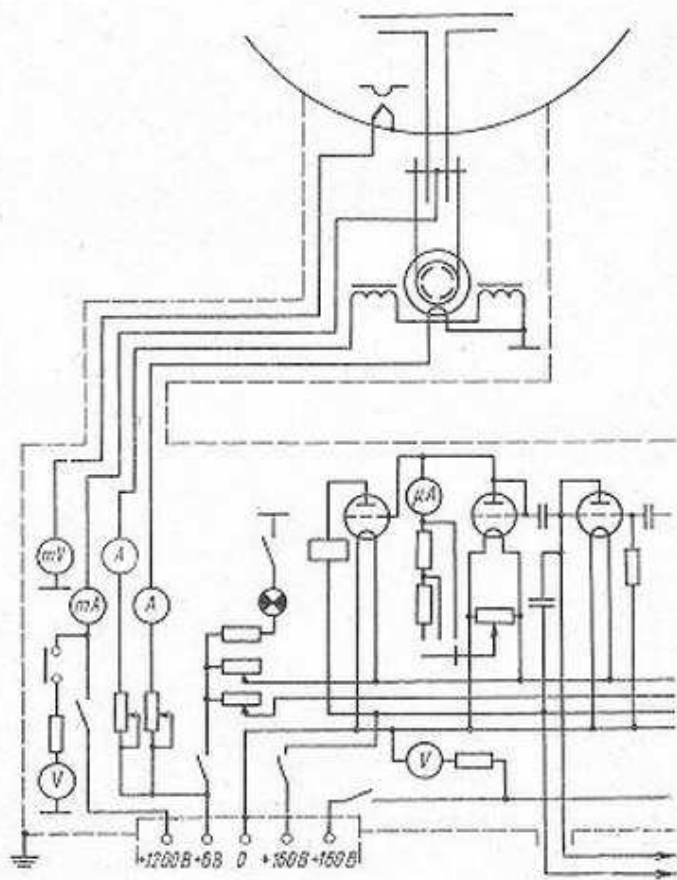
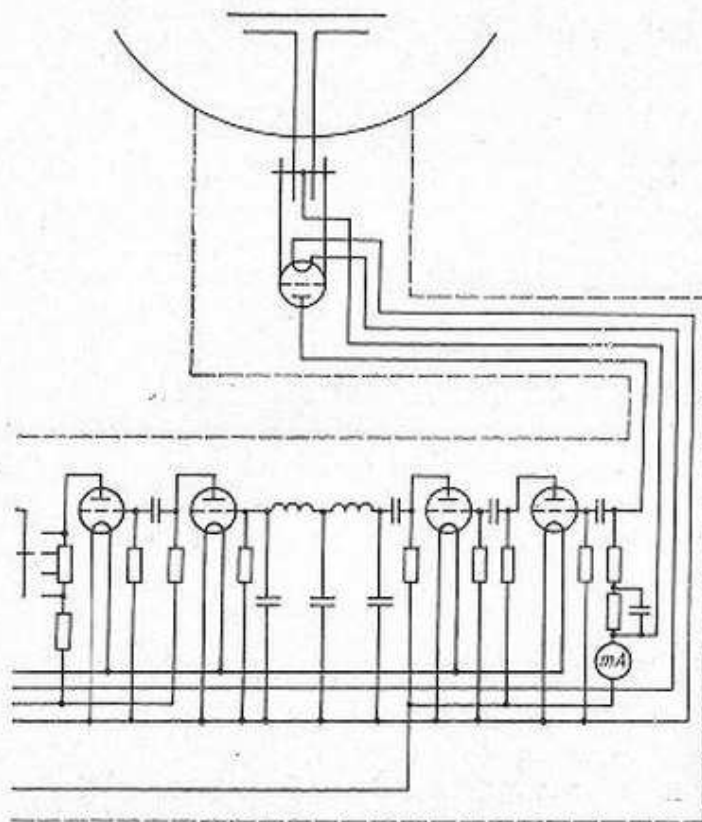


Рис. 18. Принципиальная электрическая схема

На той же панели были размещены приборы контроля режима приемника: тока накала лампы с тормозящим полем (~ 3 А), тока в цепи ее сетки (3—5 мА) и напряжения на последней (160 В), а также рукоятки реостатов для регулировки токов. Кроме того, здесь же размещался микроамперметр в цепи диода, связанной с выходом приемника, измерявший интенсивность сигнала доплеровской частоты при калибровке аппаратуры по вращающемуся вибратору, а также сигнальная лампочка, включавшаяся от реле, когда полезный сигнал достигал заданной величины при калибровке.

Усилитель приемника, в отличие от макета 1935 г., имел не трансформаторную связь с входной лампой, а резисторную. Для повышения устойчивости усиления усилитель состоял из двух блоков: первый от входа блок имел коэффициент усиления около 200 при полосе 25—800 Гц, второй — около 2000 со ступенчатой регулировкой при полосе от 25 Гц и выше, с выходом на диодный вольт-



К головным телефонам наблюдателя

радиопеленгатора «Буря».

метр и телефоны. Каждый из блоков имел свой источник анодного питания.

Для настройки приемной колебательной системы в нужном диапазоне длины волн двухпроводная линия была разрезана на две части, соединенные петлеобразными полосками из фосфористой бронзы. Одна часть была жестко укреплена, другая, связанная с лампой, могла перемещаться вместе с последней вдоль оси системы при помощи винтового привода.

Новая аппаратура была готова в июне, прошла лабораторные испытания и в августе отправлена в Евпаторию для испытаний на ПИЗП. Для сборки аппаратуры в Евпаторию был направлен техник В. С. Федотов, который к середине сентября закончил ее сборку, и аппаратура была отправлена на полигон для наладки и обучения работе на ней прикрепленного расчета. Здесь хочется отметить исключительно внимательное отношение к проводившимся работам со стороны сотрудников ПИЗПа и в особенности начальника отдела Ф. В. Болотова.

Осень 1936 г. в Евпатории была сухая. Дождей не было. Вначале можно было купаться в море, но потом — стало холодно. До полигона было довольно далеко. Ездили туда на грузовиках, которые шли колонной по немощенной степной дороге. Было очень пыльно; не поведешь на первую машину — приедешь весь в пыли.

Для испытаний радиопеленгатора на полигоне было отведено место вблизи морского берега. Берег был плоский, с песчаным пляжем. Он тянулся примерно с запада на восток. Слева, если смотреть на море, на расстоянии 200—300 м велись какие-то испытания со стрельбой из пушки. Это создавало возможность оценить работу испытываемой установки в так сказать «боевой» обстановке. Действительно, микрофонный эффект основательно «глушил» ее после каждого выстрела.

Первоначально объектами, служившими для наладки, были случайные самолеты, птиц также практически не было. Но через некоторое время было выделено звено самолетов типа Р-5, которое для обучения персонала в общей сложности совершило 11 полетов по два часа каждый. Прикрепленный к радиопеленгатору постоянный расчет состоял из двух бойцов и одного младшего командира — специалиста-слухача. Они тренировались в работе на новой для них аппаратуре, им же предстояло работать на ней и во время испытаний.

Опыты показали, что работа установки устойчива, с ее настройкой легко справляются малоознакомые с ней люди. Дальность действия, определявшаяся на глаз, превышала 10 км, заданные техническими условиями договора. Все это вселяло уверенность в успешном завершении предстоящих испытаний.

При наладочных работах был замечен своеобразный свистящий звук, напоминавший щеботание птицы (ласточки), появившийся при совершенно определенной ориентации установки по азимуту на юго-восток в плоскости видимого горизонта. Этот звук появлялся и при вибрации установки, хотя бы и небольшой.

Исследование показало, что вибрирующим элементом, вызывавшим этот звук, были полоски из фосфористой бронзы, с помощью которых фидер передатчика связывался с контуром магнетрона. С помощью регулировочного винта эти полоски можно было приближать или удалять от стержней контура и так подбирать оптимальную связь генератора с фидером. При настройке оказалось, что связь достаточна при вывинченном винте, когда пластины

ни не соприкасались с ним. Они были свободны и легко вибрировали под действием механических сотрясений. Вибрирующие пластины, несомненно, вызывали глубокую частотную модуляцию магнетронного генератора.

Поэтому возникла мысль, что аппаратом регистрируется волна, отраженная от далекого неподвижного объекта. В этом случае частотная модуляция приведет к модуляции шага фазы волны неслабеего излучения на пути передатчик — отражатель — приемник. В приемнике, где отраженный сигнал складывается с прямым, появится звуковой тон их интерференции. Такое явление, как уже говорилось, наблюдалось в октябрьских опытах 1935 г. на макете «Сталь», но тогда частота магнетронного генератора менялась очень медленно (естественная нестабильность его частоты) и хаотически, а расстояние до цели было малым. Поэтому эффект частотной модуляции мог наблюдаться только по хорошо слышимой вариации доплеровской частоты и не мог быть замечен при отражении от неподвижного объекта, находящегося на том же расстоянии, что и самолет.

Теперь же, при более глубокой периодической частотной модуляции магнетронного генератора, слышимые в аппарате высокие интерференционные частоты (щебет ласточки) свидетельствовали о наличии на данном азимуте на линии горизонта какого-то очень удаленного и довольно большого отражающего объекта, невидимого, однако, невооруженным глазом.

Естественно было предположить, что этим отражающим объектом являются возвышающиеся над горизонтом вершины крымских гор Роман-Коп (1545 м) и Ай-Петри (1233 м) и, следовательно, расстояние до них может быть около 100 км. На таком расстоянии эти вершины бывают видны только в очень хорошую погоду (угол места вершины меньше 1°).*

Таким образом, в 1936 г., хотя и случайно, была осуществлена пеленгация неподвижного объекта на расстоянии около 100 км с помощью доплеровского локатора с непрерывным излучением методом частотной модуляции.

Испытания радиопеленгатора проводились 3 и 10 октября [25]. В испытаниях принимали участие инженеры испытатели полигона К. Н. Томили и В. В. Калачев, а также приехавший из Москвы М. М. Лобанов.

При испытаниях координатные углы и дальность цели контролировались двухметровым дальномером, установленным на расстоянии около 10 м от радиопеленгатора «Бура». Предварительно дальномер и радиопеленгатор были ориентированы по отдаленному объекту, находившемуся на расстоянии 2 км. Было произведено два испытания днем и одно ночью.

На рис. 19 показан курс звена самолетов Р-5, определенный по данным дальномеров и радиопеленгатора в од-

* Уже после войны М. М. Лобанов показывал автору фото эхо-сигнала от Крымских гор, снятого с экрана современного радиолокатора в той же Евпатории.

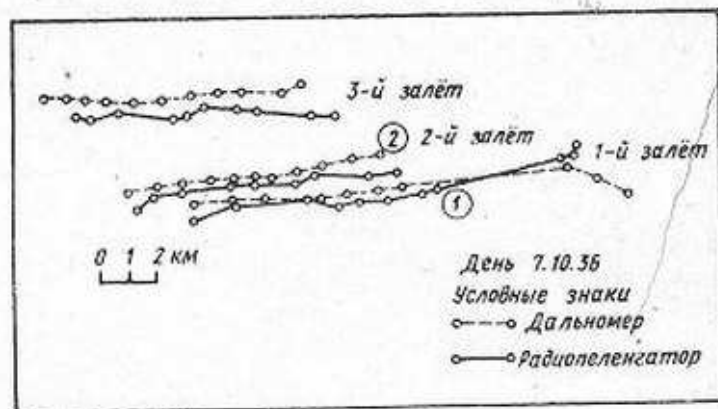


Рис. 19. Курс звена самолетов по данным дальномера и радиопеленгатора при испытаниях 7 октября 1936 г. Места расположения аппаратуры показаны цифрами в кружках:

1 — при первом и втором залетах; 2 — при третьем залете.

ном из дневных испытаний. Высота полетов была постоянной. Курс был задан летчикам и не был известен наблюдателям. В течение всех этих опытов радиопеленгатор работал надежно, цель сопровождалась уверенно, все манипуляции по управлению им велись прикрепленным расчетом без какого бы то ни было вмешательства со стороны.

В Научно-техническом журнале ГАУ № 00134 от 19 ноября 1936 г, в частности, записано [26]: «Полигонные испытания опытного макета ЭФИ показали результаты, на основании которых НИЗП приводит следующие основные выводы:

- а) максимальная наклонная дальность действия по звену самолетов Р-5 $D = 10-11$ км;
- б) средняя ошибка (в делениях шкалы угломера) по звену самолетов Р-5 в азимуте $0-51$ (3°), в угле места $0-70$ ($4,1^\circ$). То же при ветре у земли 5 м/с $0-92$ и $0-92$ ($5,5^\circ$) соответственно».

Далее говорилось, что результаты испытаний являются вполне удовлетворительными для данного макета и что следует продолжать разработку подобных приборов. Из этих результатов следовало, что по своим характеристикам (ошибки в определении углов, предельная дальность обнаружения при ветре) радиопеленгатор превосходил типовой звукоулавливатель, максимальная дальность действия которого оценивалась в 10 км.

Таким образом, в начале октября 1936 г. вновь была подтверждена возможность не только использовать метод вторичного радиоизлучения для обнаружения самолета, но и иметь на вооружении армии аппаратуру, превосходящую по своим основным характеристикам имевшуюся.

Кроме того, и это было очевидно всем участникам испытаний, новый принцип обнаружения и целеуказания открывал дальнейшие перспективы улучшения полученных результатов, в то время как перспективы дальнейшего улучшения аналогичных характеристик звукоулавливателей практически отсутствовали.

Радость от успешно проведенных испытаний для сотрудников ЭФИ была омрачена известием о смерти Д. А. Рожанского. Это был удивительно скромный, кристально-чистый человек, большой ученый. Общение с ним, его ясное и глубокое понимание физики явлений, его советы — все это сыграло очень большую роль в формировании научных взглядов многих сотрудников ЛЭФИ. Потеря этого человека, и такая преждевременная (он умер в возрасте 54 лет), была очень большой утратой для советской науки.

Аппаратура «Стрела»

В начале 1936 г. по инициативе НИМИСа в НИИ-9 были поставлены опытные работы по обнаружению движущихся объектов — кораблей — на море. На эти работы был заключен договор за № 275101 [27], согласно которому в течение 1936 г. НИИ-9 должен был построить необходимую аппаратуру, провести ее испытания по кораблям и, в первую очередь, по торпедным катерам, составить отчет и передать его и аппаратуру НИМИСу. Никаких тактико-технических условий на аппаратуру не ставилось, работа имела шифр «Стрела». Поскольку для таких исследований целесообразно было использовать имеющийся опыт радиообнаружения самолетов доплеровским методом, эти работы дирекцией института были поручены лаборатории стабилизации.

На основе опыта 1935 г. была спроектирована и построена аппаратура, состоявшая из двух отдельных параболических антенн — передающей и приемной — со своей передающей и приемной аппаратурой и питанием к ней. Отражатели диаметром 1,5 м каждый были смонтированы на отдельных подставках и могли устанавливаться под произвольными углами по азимуту и углу места.

Передачик и приемник были копиями аналогичной аппаратуры, спроектированной для радиопеленгатора «Буря». Разница была лишь в полосе частот приемника, расширенной в сторону

низших и ограниченной в сторону высших, в соответствии с низкими скоростями кораблей. Хотя возрастание шумов от фликкер-эффекта при этих условиях было очень заметным, а отражатели были меньшего диаметра, чем в установке «Буря», предполагалось, что большая эффективная отражающая поверхность корабля компенсирует эту потерю.

Аппаратура «Стрела», поскольку она, кроме своей кинематической части, являлась копией аппаратуры «Буря», была изготовлена на Опытном заводе института одновременно с последней. Отладка ее по работающему вибратору Ю. К. Коровина к августу была закончена, и можно было приступить к испытаниям.

В середине августа аппаратура была погружена на пароход, идущий в Кронштадт, к месту испытаний. Тем же пароходом отправился В. А. Тропицко, который через несколько дней сообщил, что аппаратура установлена на отведенном ей месте и что можно начинать испытания.

Местом испытаний был остров Кроншлот близ Кронштадта. Расположенный рядом с морским фарватером, этот остров был очень удобен для работ, так как можно было работать в любое время суток и всегда иметь большое число объектов наблюдения разных типов и размеров, идущих всегда одним курсом. Кроме того, на Кроншлоте базировался отряд торпедных катеров.

Аппаратура была расположена на берегу, на высоте 3—3,5 м над уровнем моря, и ее антенны были обращены на запад. Слева на расстоянии десятка метров располагалась полуразрушенная стена старого форта. Она тянулась вперед, заворачивая влево, и обрывалась в море. Стена не мешала обзору фарватера морского канала, но служила великолепным гнездышем для ласточек, которые в большом количестве непрерывно носились вокруг.

Было ясно, что обнаружение кораблей по доплеровскому эффекту на используемой волне при приеме на слух будет труднее, чем самолетов: слишком мал доплеровский сдвиг частоты (ниже 10—15 Гц). Однако оказалось, что основными помехами при обнаружении кораблей в этих условиях были другие причины: птицы и морские волны. Помехи от птиц были очень велики на этих низких частотах, и можно было работать только поздно вечером, когда птицы не летали или летали редко. Но помехи от волн могли существовать в любое время суток. По своей интенсивности они, конечно, зависели от состояния морской поверхности, т. е. от ветра — его направления и силы. Поэтому наблюдения обычно велись по вечерам.

При закатном солнце корабли, идущие по морскому каналу, виделись черными силуэтами, казались неподвиж-

ными и при благоприятных условиях (нет ветра и птиц) обнаруживались аппаратурой на дистанциях 3—5 км в зависимости от типа и тоннажа.

Торпедный катер аппаратура позволяла обнаруживать при благоприятных условиях на расстояниях до 500 м, а при встречном ветре и волне 0,5 м — не более 300 м.

В августе 1936 г. аппаратура в действии была продемонстрирована представителям НИМИСа. Был подписан акт приемки работы и аппаратуры. И уже несколько позже был составлен и отправлен НИМИСу научно-технический отчет по этим работам, который, к сожалению, найти в архивных материалах пока не удалось.

В заключение этого раздела хотелось бы отметить роль В. А. Тропицко, который был ведущим участником этих работ, начиная от палатки аппаратуры и кончая ее испытанием. Без преувеличения можно сказать, что его энергия и настойчивость в значительной мере определили успех испытаний.

Хотелось бы отметить также исключительное внимание и желание всячески помочь ходу испытаний со стороны командира отряда торпедных катеров, базировавшегося в то время на Кроншлоте.

1937 год

Полигонными испытаниями в Евпатории 3—10 октября 1936 г. закончились договорные работы ЭФИ — НИИ-9 с ГАУ на этот год. После испытаний вопрос о возможности использования для целей зенитной артиллерии вторичного радиоизлучения самолета уже не стоял. Он был решен окончательно. Возник новый вопрос о создании для армии действующей аппаратуры, основанной на новом принципе, которая отвечала бы тактико-техническим требованиям зенитной артиллерии.



Рис. 20. Владимир Андреевич Тропицко.

В письме ГАУ от 17 ноября 1936 г. о полигонных испытаниях установки «Буря», адресованном директору ЭФИ — НИИ-9, было сказано: «... необходимо отметить, что результаты испытаний настолько заметны, что они заставляют вести работы в дальнейшем самым форсированным способом» [28]. В Научно-техническом журнале ГАУ [26] о полигонных испытаниях радиопеленгатора «Буря» было записано: «Рассматривая выводы НИЗПа, необходимо считать доказанной возможность пеленгации самолета методом отраженных электромагнитных волн. Результаты, полученные при настоящих испытаниях, являются первыми. В дальнейшем открываются еще большие перспективы пеленгации, в особенности в части увеличения дальности и точности пеленга. Это дает полную уверенность в получении в недалеком будущем новой системы, обеспечивающей стрельбу по пеленгаемой цели с действительными результатами. Кроме того, дальнейшая работа в этом направлении открывает возможность определения дальности до самолета (а следовательно, и высоты) и его скорости.

Ввиду актуальности задачи пеленгации самолетов для обороны СССР и получения уже реальных положительных результатов новым методом насущной необходимостью является форсированное разрешение как окончательного вопроса пеленгации, так и всех смежных с ним вопросов (дальность, скорость, любые курсы).

Все это, а также отчет об испытаниях [25], присланный НИЗПом, заставили руководство института обратить более серьезное внимание на проведенные работы. План работ лаборатории на 1937 г. подробно обсуждался с М. А. Бонч-Бруевичем и Н. И. Смирновым и был полностью принят.

В этот план кроме работ по совершенствованию радиопеленгатора «Буря» — продолжении договорных работ для ГАУ — входили также работы, направленные на более широкое изучение возможностей радиолокации при доплеровской методике: увеличения дальности действия и точности пеленга, определения третьей координаты — расстояния до цели. Более подробно об этих работах будет сказано ниже.

В 1937 г. все новые экспериментальные установки, за исключением одной, были размещены на институтской экспериментальной базе близ села Островки, на берегу р. Невы. Здесь, в близлежащем лесном массиве, размещались объекты базы. Для работ по радиолокации была вы-

делена большая лесная поляна, такая, что легкий самолет типа Р-5 мог взлетать и садиться. Летом 1937 г. институтом был приобретен самолет и были приняты на работу летчик и борт-механик.

До Островков от Ленинграда довольно далеко, что-то около 50 км, если ехать автобусом или легковой машиной. Дорога эта была тяжелой для автомобиля, но осенью 1936 г. такой способ был единственным, хотя и крайне неудобным. Позже в Островках была оборудована пристань, и летом 1937 г. стало возможным ездить туда по Неве пароходом. В 1937 г. ездили также поездом с Московского вокзала до ст. Ивановская, куда в определенный час подавался автобус. Автобус вез пассажиров по левому берегу реки до перевоза напротив Островков. Перевоз — на лодках. Последний путь, налаженный летом, был наиболее быстрым и наименее утомительным. Им пользовались работавшие на базе сотрудники института для различных поездок, в том числе и для поездок в Ленинград на выходной день.

Лабораторные здания на базе были, кроме одного, легкими, типа ангаров, не рассчитанными на работу в зимнее время. Лишь одно здание было теплым и служило мастерской и складом приборов. Жили и питались сотрудники в центральной усадьбе в Островках, где в бывшем Потемкинском дворце была оборудована столовая, а в прилегающих усадебных домах — жилые комнаты гостиничного типа. При усадьбе была оборудована неплохая спортивная база с лодочной станцией.

Размещение аппаратуры лаборатории на базе, проектирование и строительство зданий на площадке базы, решение большого числа сложных научно-технических задач плана — все это требовало большой научно-организационной работы: задач было много, а работников мало.

По различным причинам лаборатория непрерывно теряла своих наиболее опытных и ведущих сотрудников (В. В. Цимбалин, А. И. Мержеевский, Р. Р. Гаврук, В. А. Тронилло, К. И. Тресс). В результате в 1937 г., именно тогда, когда работы должны были развиваться особенно интенсивно, только один из инженеров лаборатории имел уже известный опыт работы на наших установках. Это был Э. И. Голованевский — единственный сотрудник, на которого можно было опереться. Он пришел в ЛЭФИ в 1934 г. еще студентом Ленинградского политехнического института, защитил диплом в 1936 г., а в 1937 г. вполне самостоятельно вел разработки и исследование первой радиолокационной аппаратуры и сыграл большую роль в развитии работ ЭФИ и НИИ-9 по радиолокации. Остальные только учились работать. От них трудно было ожидать в 1937 г. самостоятельности и ощутимых результатов работы, в особенности на новых, еще не освоенных направлениях разработок. К тому же разработчики не были обеспечены качественными магнетронами институтской электровакуумной лаборатории.

Однако, несмотря на эти трудности, работы лаборатории в 1937 г. развивались успешно и летом 1937 г. все новые установки, о которых пойдет речь ниже, были изготовлены и смонтированы на базе.

ные и проверенные опытом передающая и приемная головки типа «Буря», что сократило бы сроки ее создания. Ожидаемая дальность действия такой установки оценивалась в 25 км по легкому самолету.

В соответствии с этими соображениями на базе в Островках была создана аппаратура, получившая наименование «Радиоискатель» под шифром РИ-4. Цифра 4 в данном случае обозначала диаметр параболических отражателей, равный 4 м. Эти работы вел Э. И. Голованевский. Радиоискатель РИ-4 рассматривался как экспериментальная аппаратура в широком смысле. На ней должны были отрабатываться все узлы подобной аппаратуры и особенно приемник, недостатки которого были очевидны.

Два четырехметровых параболических антенны радиоискателя были укреплены по концам металлической фермы. Ферма вращалась вокруг вертикальной оси, укрепленной в бетонном фундаменте, антенны — на общем горизонтальном валу. Движение осуществлялось не вручную, а при помощи серводвигателей. Радиоискатель РИ-4 был размещен в специальном ангаре и мог поворачиваться по азимуту в пределах угла порядка 90°, т. е. кругового обзора он не имел. Но, так как можно было задавать самолету требуемое направление полета, этого и не нужно было. Стенки ангара перед антеннами не было. Вместо нее была натянута парусина. Так была исключена ветровая нагрузка на четырехметровые отражатели антенны, хотя оператор был лишен возможности видеть самолет. Конструктором этой установки был К. И. Тресе.

Как уже говорилось, передающая и приемная головки радиоискателя были те же, что и в радиопеленгаторе «Буря». Разница состояла в приемном устройстве, в котором вся полоса доплеровских частот делилась на 18 каналов шириной 50 Гц каждый. Это достигалось при помощи высококачественных полосных фильтров, разработанных инженером лаборатории В. К. Поздеевым. Они состояли из резонансных звеньев, составлявших П-образную систему полосового фильтра, имевшего согласованную нагрузку на входе и выходе. Торональные сердечники индуктивностей фильтров обеспечивали минимальные потоки рассеяния. Затухание по отношению к соседнему каналу превосходило величину 20—30 дБ. При максимальной чувствительности (максимальном усилении) шумовые сигналы на входе приемника приобретали на его выходе характер медленно флуктуирующих тональных сигналов. Каждый канал имел на своем выходе световую индикацию и релейную индикацию на общий прибор, расположенный перед глазами оператора. Направление на цель определялось по максимуму сигнала на слух и по прибору.

В аппаратуре РИ-4 была осуществлена попытка создания светового табло для командного пункта. Наличие доплеровского сигнала приводило к появлению на экране световой стрелки, показывавшей азимут цели.

Величина прямого сигнала на приемнике РИ-4 оказалась недостаточной. Она была увеличена до нужного уровня с помощью специального фидера, связывавшего приемник с передатчиком, как это было в опытах 1935 г. с макетом «Буря». Схема радиоискателя РИ-4 показана на рис. 22.

Более низкое, чем в опытах 1935 г., расположение аппаратуры над землей увеличивало относительную величину компонентов прямого сигнала, обусловленных отражением от ближайших предметов — в наших условиях лесной поляны — от окружающего леса. Этот отраженный сигнал увеличивал уровень шумов в приемнике. Этот дополнительный шум был назван тогда «шумом леса». Как уже говорилось выше, при описании работ 1934—1935 гг. по дальнему обнаружению самолетов для УПВО, эти флуктуации шумового характера являлись результатом флуктуаций частоты генератора и вторичных волн от леса.

Радиоискатель РИ-4 был собран и смонтирован на базе к осени 1937 г. В 1938 г. Э. И. Голованевский получил на нем уверенную дальность действия 25 км по легкому неметаллическому самолету типа У-2. При испытаниях подтвердилось, что поиск цели затруднен из-за малой угловой ширины луча и большой инерционности системы. У Э. И. Голованевского в группе кроме упомянутого В. К. Поздеева были инженеры В. А. Подгорных и

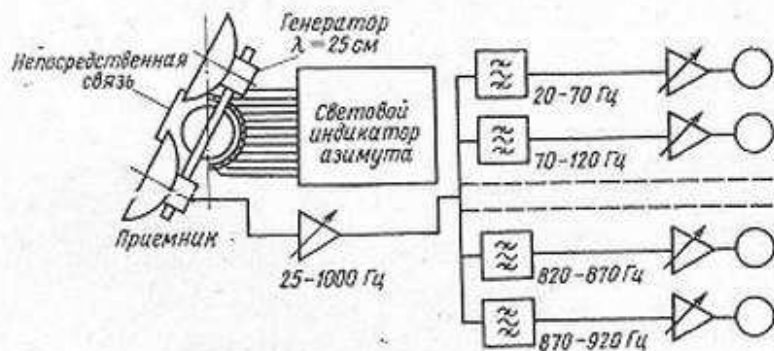


Рис. 22. Схема радиоискателя РИ-4.

Е. Н. Руднева, а также техники В. С. Федотов, Зайков и Н. Н. Зеленцев.

Кроме радиоскатели РИ-4, по предложению М. А. Бонч-Бруевича, в план работ лаборатории, переходящих на следующий, 1938 г., была включена такая же аппаратура, но с параболическими антеннами диаметром 10 м. Эти антенны должны были быть установлены на высоких металлических башнях на базе в Островках. В 1937 г. башни были спроектированы. Сама аппаратура — радиоскатель РИ-10 — была создана и испытана в 1938 г. [3].

Радиопеленгаторы самолетов «Буря-2» и «Буря-4»

Увеличение точности определения угловых координат сужением диаграммы направленности антенны, т. е. увеличением диаметра их отражателей при той же волне, как уже говорилось, должно было затруднить поиск и сопровождение цели и увеличивало габариты аппаратуры. Предвидимое укорочение длины волны в будущем не снимало первых двух трудностей. Другими словами, этот путь содержал противоречие, которое невозможно было преодолеть. Следовало искать другие пути решения задачи.

Естественно было обратиться к таким системам, в которых достижение угловой точности пеленга является главной задачей. Такими системами были радиомаяки, имевшие уже тогда широкое распространение в радионавигации. Основным методом здесь являлся метод равносигнальных зон, обеспечивающий необходимую точность пеленга без сужения диаграммы направленности антенны.

Применив этот метод в нашей аппаратуре, можно было, не снижая возможностей поиска цели, увеличить точность определения ее угловых координат. Так как работа аппаратуры при этом методе ведется не на максимуме диаграммы направленности антенны, дальность действия аппаратуры несколько снижается, но, как показывали расчеты, не так уж сильно. Кроме того, этот метод технически усложняет аппаратуру, так как основан на попеременном приеме с нескольких антенн, оси которых направлены под углом друг к другу. Однако перспективность этого метода была настолько очевидной, что он без колебаний был принят при проектировании и создании радиопеленгаторов для зенитной артиллерии.

В 1937 г. в Островках на основе этого метода были созданы две установки, эскизные проекты которых были направлены ГАУ [30]:

1. Радиопеленгатор «Буря-4» — с одной передающей антенной и тремя приемными. Все антенны с параболическими отражателями смонтированы на общей раме, на основе тележки и кинематической системы звукоулавливателя. Чтобы не слишком увеличивать габариты аппаратуры, не ухудшать ее маневренность при работе, параболоиды-отражатели были меньшего диаметра — 1,5 м.

Приемников было три и сигналы их переключались периодически при помощи реле. Наблюдатель должен был сравнивать интенсивность сигналов доплеровской частоты.

Приемные антенны были направлены под равными углами к передающей и в $\sqrt{2}$ раз большими друг к другу по азимуту и углу места. Сравнение сигнала от одной, например первой, с сигналом от второй давало информацию о смещении цели по азимуту, а сигналов от третьей и второй — по углу места. Наблюдателей должно было быть два — один для смещений по азимуту, другой — по углу места.

С помощью этой аппаратуры намечалось исследовать метод равносигнальных зон в условиях работы на базе, пусть даже сейчас при меньшей дальности действия.

2. Радиопеленгатор «Буря-2». Желание упростить аппаратуру радиопеленгатора, сократить число антенн привело к другому варианту метода равносигнальных зон, не применявшемуся в технике радиомаяков. Суть варианта была основана на возможности изменять направление электрической оси антенны с параболическим отражателем путем смещения облучателя из его фокуса в плоскости, перпендикулярной оси антенны. Как показывал проверочный эксперимент, при небольших смещениях облучателя интенсивность излучения в максимуме диаграммы направленности антенны менялась очень мало и не было также существенных изменений ее формы. Основываясь на этом, можно было, смещая облучатель из фокуса отражателя, качать в плоскости или вращать, описывая коническую поверхность, электрическую ось антенны. Такое сканирование электрической осью антенны в длинноволновой технике радиомаяков осуществлять было бы трудно, если не невозможно. Здесь такой прием было легко реализовать.

С помощью механизма, приводимого в действие электромотором, приемный вибратор радиопеленгатора «Буря-2» вместе с фидером и детектором описывал окруж-

ность диаметром 40—60 мм вокруг фокуса параболического отражателя. Облучатель передающей антенны оставался неподвижным в фокусе отражателя. Поляризация воли оставалась неизменной. Стрелка-индикатор, вращающаяся перед глазами наблюдателя синфазно с диполем, показывала ему, в какую сторону в данный момент отклонена электрическая ось антенны. Прослушивая интенсивность доплеровского сигнала, которая изменяется периодически с частотой вращения вибратора, наблюдатель мог определить, в какую сторону сместилась цель и куда ему следует поворачивать радиопеленгатор при слежении.

Расчет показывал, что уменьшение дальности действия радиопеленгатора при таком варианте невелико. На этот радиопеленгатор, который во всем остальном представлял собою прежнюю, уже испытанную в 1936 г. аппаратуру «Буря», но несколько усовершенствованную в деталях, был заключен договор с ГАУ. Он был собран и нужно было приступить к его отладке.

В современной радиолокации в аппаратуре определения угловых координат цели, точнее, в аппаратуре ее сопровождения применяются оба описанных выше и заложенных в аппаратуре 1937 г. метода: многолучевая (многолучевая) система и система конического сканирования.

Многолучевая система обычно строится сейчас на основе одного параболического отражателя с четырьмя облучателями, смещенными из его фокуса в четырех взаимно перпендикулярных направлениях. Что касается конического сканирования, то оно нашло себе самое широкое применение.

Как можно прочесть у Д. К. Бартона [31], «в первых РЛС, появившихся в начале 2-й мировой войны (станции сопровождения — В. III.) был использован принцип переключения лепестков; для получения двух сравниваемых сигналов использовались лучи, направления которых были несколько смещены относительно центральной оси системы». И далее: «В более совершенных системах использовался один луч, вращающийся вокруг оси антенны; при этом образуется конус, автоматически центрирующий на цель. Такие системы конического сканирования сохранились и до настоящего времени... Примером такой системы (конического сканирования — В. III.) может служить нашедшая широкое применение и лучше всего изученная РЛС управления зенитным огнем SKR-584, разработанная Лабораторией излучений Массачусетского технологического института в 1943 году».

Радиодальномер «Гроза»

Как уже было сказано, возникновение интерференции прямой и отраженной воли в установках доплеровской радиолокации при модуляции частоты магнетрона было замечено дважды. Один раз при сопровождении самолета в 1935 г., когда вариации доплеровской частоты, вызванные естественной нестабильностью частоты магнетронного генератора возрастали по мере удаления самолета, и во второй раз в Евпатории, когда при частотной модуляции передатчика можно было наблюдать отраженный от далеких гор сигнал. В обоих этих опытах сигнал нес информацию о расстоянии до отражающего объекта (в первом случае подвижного, во втором — неподвижного).

В те годы уже существовали радиоальтиметры с частотной модуляцией генератора. Но интерференция, наблюдавшаяся в указанных выше практических случаях применения аппаратуры, при частотной модуляции могла быть использована в разрабатываемых установках для их совершенствования. Было ясно, что здесь могут лежать ответы на важные вопросы, кроме прямого измерения расстояния.

Получалось, что с помощью частотной модуляции передатчика можно:

— измерить расстояние до цели, т. е. определять ее третью координату;

— регистрировать самолет при 90°-ном курсе, когда его радиальная скорость равна нулю и простой доплеровский метод не пригоден для регистрации цели;

— разделять цели по расстоянию; вводя соответствующие частотные фильтры, можно получить селекцию целей по расстоянию, устранив таким образом отражения от объектов, лежащих дальше или ближе заданного расстояния.

Для исследования всех этих вопросов была создана аппаратура по типу «Бури», но с модулированным по частоте магнетронным генератором. Она, в отличие от всех экспериментальных установок 1937 г., была размещена не в Островках, а на той же крыше здания ЭФИ, поблизости от оборудованной лаборатории. Так как одной из задач, которую можно было считать главной, являлось определение расстояния до цели (третьей координаты), на нее с ГАУ был заключен отдельный договор. Работа пошла шифр «Гроза» [32] и в ней, как первый этап, ставилась

задача создания макета «радиодальномера». В случае успеха, как второй этап, можно было рассчитывать на создание уже не «радионеленгатора», а «радиолокатора».

Если скорость изменения во времени частоты генератора СВЧ равна f_T , то при расстоянии до отражающего объекта, равном L , частота интерференции f_M с точностью до постоянного коэффициента равна Lf_T , т. е. пропорциональна расстоянию. В разработанном радиодальномере было намечено осуществить два метода использования частотной модуляции.

В первом из них частота генератора модулировалась по линейному закону. В этом случае $f_T = \text{const}$ и тогда измерение расстояния сводится к измерению постоянной частоты интерференции f_M . Такая схема в принципе была аналогична известной схеме радиодальмера.

На рис. 23,а показана соответствующая функциональная схема аппаратуры. Усилитель имел полосу пропускания 50—5000 Гц. Принимаемый сигнал подавался на частотный дискриминатор с индикатором на выходе. Индикатор — стрелочный прибор, который можно градуировать в масштабе расстояний до отражающего объекта.

Во втором варианте аппаратуры применялась нелинейная модуляция частоты генератора. В этом случае f_M для заданного расстояния не постоянна и меняется в относительном диапазоне изменения f_T . Если пределы для измеряемых расстояний L_{max} и L_{min} и диапазон измерений f_T заданы так, что $L_{\text{min}} f_{T \text{ max}} = L_{\text{max}} f_{T \text{ min}} = f_{\text{ав}}$, то селективный усилитель с частотой пропускания, равной $f_{\text{ав}}$, будет выдавать сигнал в тот момент времени, когда f_T примет значение, соответствующее расстоянию до объекта.

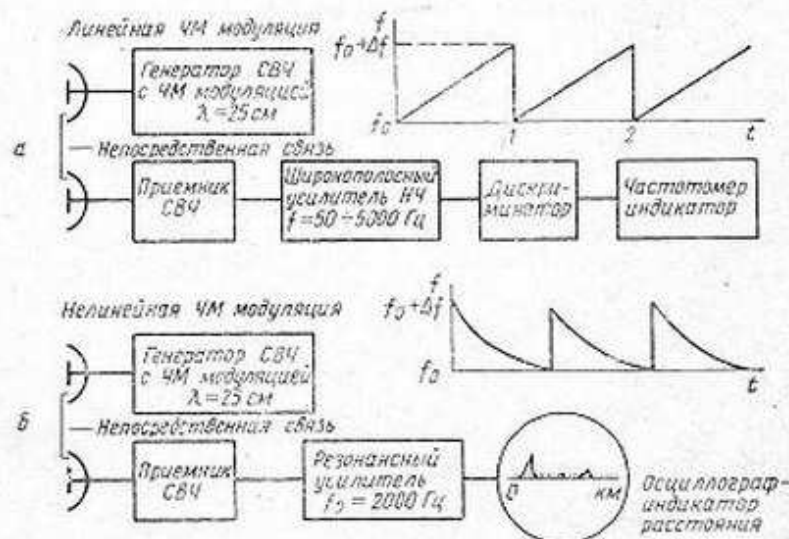


Рис. 23. Схема радиодальномера «Гроза».

На рис. 23,б показана соответствующая схема. После первого преобразования в приемнике СВЧ сигнал усиливается узкополосным усилителем и подается на осциллограф. Развертка последнего синхронизирована с генератором пилообразного напряжения, управляющего частотой генератора СВЧ. Отраженный сигнал регистрируется на экране осциллографа в форме пика, момент появления которого определяется расстоянием до цели. Шкала осциллографа может быть градуирована в расстояниях.

Для создания неглубокой, но достаточно широкополосной частотной модуляции генератора, закон изменения которой во времени можно было бы задавать по желанию, в модулирующем устройстве был использован механизм электродинамического громкоговорителя, который обеспечивал возможность работы в широком диапазоне частот и линейность перемещений его катушки в зависимости от тока через нее. К катушке была прикреплена очень легкая металлическая пластинка, двигавшаяся вдоль стержней колебательной системы магнетронного генератора, у короткозамкнутого конца их. Расстояние пластинки до стержней можно было менять. Такая система позволяла задавать желаемый закон изменения частоты генератора во времени, девиацию его частоты с достаточной точностью, а также частоту модуляции в широком диапазоне.

В схеме с нелинейной модуляцией, выбрав частоту узкополосного усилителя достаточно высокой, можно было надеяться уменьшить, а может быть, и исключить из помех приему микрофонные эффекты лампы. Разработку всей этой аппаратуры вел Э. И. Голованевский, а затем с осени 1937 г. Л. Ю. Блумберг.

Аппаратура была разработана, и в 1937 г. на базе радионеленгатора «Буря» был собран и испытан без проверки по самолетам радиодальномер «Гроза». Насколько сейчас известно [3], испытания радиодальномера по самолетам были проведены летом 1938 г., но не дали удовлетворительных результатов из-за шумов в магнетронном генераторе, что снижало дальность действия до 7—8 км вместо 15—16 км, получавшихся при отсутствии модуляции. В настоящее время частотно-модулированные доплеровские локационные системы применяются очень широко [33].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Когда в начале 1934 г. в ЛЭФИ обсуждался вопрос о путях решения задачи обнаружения самолета по вторичному радионизлучению, решающим доводом в пользу

доплеровской системы с непрерывным излучением явилась техническая возможность быстрого осуществления соответствующей аппаратуры.

Это позволило уже через несколько месяцев продемонстрировать открывающиеся возможности нового метода обнаружения самолетов по их вторичному радиоизлучению и создать прототип совершенно новой аппаратуры, которая в дальнейшем была принята на вооружение. Демонстрация возможностей этого метода вывела его из области умозрительной в область реальностей. Скептиков это заставило взглянуть на новый метод другими глазами.

Разработка далее на той же основе аппаратуры для зенитной артиллерии показала, что для создания действующих макетов аппаратуры необходимо разработать хороший приемник при максимальном использовании возможностей техники дециметровых волн того времени. В то время была достигнута предельная для этой техники чувствительность приемника, и это позволило на опыте показать, что и здесь применение аппаратуры, работающей на принципе вторичного радиоизлучения самолета, очень перспективно, а вновь созданная аппаратура уже может конкурировать со звукоулавливателем.

Дальнейший анализ накопленного опыта и принципиальных возможностей доплеровского метода радиолокации показал, что он способен обеспечить получение весьма большого объема сведений о параметрах цели.

Однако для дальнейшего существенного увеличения дальности действия — основной характеристики аппаратуры — требовалось также существенно улучшить ее технические параметры. Но имевшиеся тогда возможности техники дециметровых волн в доплеровской аппаратуре с непрерывным излучением в основном были уже исчерпаны, а получение новых, лучших требовало серьезных разработок и, следовательно, времени.

С конца 1937 г. тематика лаборатории — радиообнаружение самолетов — стала основной в НИИ-9. Теперь решением этой задачи занимались не только около 30 сотрудников лаборатории, но и ведущие сотрудники института и большая часть его коллектива. Работы возглавили М. А. Бонч-Бруевич и Б. А. Введенский.

В основе разработок НИИ-9 аппаратуры для зенитной артиллерии остался тот же доплеровский принцип при непрерывном излучении. Разработки продолжались вплоть до начала войны, но не привели к созданию образцов

аппаратуры, полностью удовлетворявшей тактико-техническим требованиям потребителя. Возможности техники по-прежнему ограничивали возможности аппаратуры.

В 1938 г. Ю. Б. Кобзарев, продолжавший в ЛФТИ работы по импульсному методу, начатые в 1935 г., получил блестящий по тому времени результат — дальность обнаружения самолета в 50 км при одновременном определении расстояния до цели. Это коренным образом изменило положение дел.

Импульсный метод радиолокации, стимулировав быстрое развитие импульсной техники, довольно скоро стал ведущим в дальнем обнаружении самолетов, так же, как и в ведении огня зенитной артиллерии. Его роль в радиолокации военных лет невозможно переоценить, он господствовал безраздельно. В этой обстановке тогда существовало мнение, что для решения практических задач радиолокации доплеровский метод с непрерывным излучением непригоден и ориентировка на него в первых разработках радиолокационных станций была вообще ошибочной [1]. Но доплеровский метод с его основным преимуществом — обнаружением движущихся целей — не мог не получить развития. И именно благодаря тому, что «в первых импульсных радиолокаторах информация о доплеровском сдвиге частоты, свойственном сигналам, отраженным от движущихся целей, не использовалась, эти радиолокаторы иногда не имели большой ценности в районах, где наблюдалось обилие мешающих отражений от неподвижных объектов» [34]. Это положение привело к созданию когерентно-импульсных систем, в которых сочетаются преимущества импульсного метода с достоинствами доплеровского.

Более того, по мере увеличения скорости объектов наблюдения (ракеты, спутники), по мере повышения требований к точности слежения за ними интерес к доплеровским системам с непрерывным излучением все более возрастал.

В то же время техника СВЧ (сантиметровые и миллиметровые волны) вышла на новые рубежи: теперь она могла дать радиолокации значительно более совершенные технические средства. Усовершенствовалась техника генерирования колебаний и излучающих систем, техника приема и обработки получаемой информации. Все это позволило настолько улучшить характеристики аппаратуры с непрерывным излучением, что, как свидетельствует зарубеж-

ная научно-техническая литература, в настоящее время такой аппаратурой оборудуются мощные установки противоракетной обороны (ПРО) и установки для космических исследований [35].

Мы видим, что произошла переоценка ценностей: теперь в дальнейшем обнаружении приоритет оказывается на стороне систем с непрерывным излучением.

Оглядываясь сейчас на эти далекие годы, хочется задать вопрос: а что же собственно определило сравнительно быстрый успех на этом, совершенно новом для нас, пути? Ведь все, что было сделано и с чем познакомился читатель этой книги, основывалось на известных вещах и явлениях. И вот простая комбинация уже известных вещей при правильном понимании явлений позволила обнаружить скрытые до того времени возможности обычной радиотехники, эффекты, сущность которых также была совершенно ясна. В этом смысле проделанная коллективом лаборатории работа ничем не отличалась от любой другой научно-исследовательской разработки, но ее результативность была обеспечена быстрой и полной реализацией возможностей существовавшей тогда техники. Для этого требовалось знание этой техники, увлеченность работой и упорный и целеустремленный труд. В этом и был секрет успеха.

В связи с этим хочется сказать молодым читателям, посвятившим себя науке: в работе не бойтесь трудных тем. Если задача вам ясна, если ваша мысль не усноканвается, если вы напряженно заняты поиском решений и используете для этого все свое время — и на работе, и дома, и по пути домой, засыпаете и просыпаетесь с мыслью о своей задаче — вы обязательно ее решите. Если тема вам покажется неинтересной, как будто бы не сулящей эффективных и скорых выходов — не спешите отказываться от нее, подумайте. Пристально и настойчиво изучая вопрос и смежные с ним проблемы, вы обязательно найдете в нем новое, интересное, а иногда и очень важное. А чем больше вы вложите труда в вашу работу, тем больше будете ценить ее, тем ближе она вам будет, тем большее удовлетворение вы получите от решения поставленной задачи.

Целеустремленность в работе — основное условие ее успеха. Но помните — редко когда работа выполняется быстро, поэтому запасайтесь терпением. И тогда трудные условия работы, если они вам встретятся, покажутся не таким уж большим препятствием.

Список литературы

1. Лобанов М. М. К вопросу возникновения и развития стечественной радиолокации. — «Военно-исторический журнал», 1962, вып. 8, с. 13—29.
2. Ощепков П. К. Жизнь и мечта. М., «Московский рабочий», 1967.
3. Лобанов М. М. Из прошлого радиолокации. М., Воениздат, 1969.
4. Хорошидов П. Е. Это начиналось так..., М., Воениздат, 1970.
5. Кобзарев Ю. Б. Первые советские импульсные радиолокаторы. — «Радиотехника», 1974, т. 29, № 5, с. 2—6.
6. Покровский Р. П. Юбилей отечественной радиолокации. — «Радио», 1974, № 10, с. 18.
7. Александр Алексеевич Чернышев. Материалы к биобиблиографии ученых. М., «Наука», 1968.
8. Коровин Ю. К. Разработка радиолокационной аппаратуры. — В кн.: Центральная радиолокационная лаборатория в Ленинграде. Под ред. И. В. Бренева. М., «Сов. радио», 1973, с. 173—196.
9. Водопьянов Ф. А. Радиолокация. М., Госпланиздат, 1946.
10. Breit G., Tuve M. A. A test of the existence of the conducting layer. — «Phys. Rev.», 1926, v. 28, Sept.
11. Trevor B., Carter P. Notes on propagation of wave below ten meters in length. — «Proc. IRE», 1933, v. 21, № 3, p. 387—426.
12. Clavier A. G., Gallant L. C. Anglo-French micro-ray link. — «Radio Engineering», 1934, v. XIV, № 2, p. 19—23.
13. Шембель Б. К., Цимбалли В. В. Отчет ЛЭФИ по работе № 2100. 1934, июнь. — ЦГАСА, ф. 20, оп. 41, д. 70, л. д. 153.
14. Протокол совещания при ЛЭФИ от 30 апреля 1934 года. ЦГАСА, ф. 20, оп. 41, д. 63, л. д. 72.
15. Справочник по основам радиолокационной техники. М., Воениздат, 1967.
16. Шембель Б. К., Мержеевский А. И. Технический отчет по выполнению п. 2а договора по работе № 2170 «Рapid», 1934. — ЦГАСА, ф. 37791, оп. 1, д. 1299, л. д. 8.
17. Акт готовности работ по п. 2а договора по работе № 2170 «Рapid», 1934. — ЦГАСА, ф. 37791, оп. 1, д. 1299, л. д. 61.
18. Акт конкретизации последнего пункта договора по работе № 2170 «Рapid», 1934. — ЦГАСА, ф. 37791, оп. 1, д. 1299, л. д. 56.
19. Акт испытании аппаратуры согласно договора от 19 февраля 1934 г. Л. 5—11 марта 1934 года. — ЦГАСА, ф. 37791, оп. 1, д. 1299, л. д. 78.
20. Шембель Б. К., Голованевский Э. И., Гуревич М. Д., (млэд.), Федотов В. С. Радиолонгатор самолетов на дециметровых волнах. 1935, Отчет ЭФИ. — ЦГАСА, ф. 20, оп. 41, д. 236, л. д. 270.
21. Hoffmann H. E. Das leistunglos gesteuerte bremsaudion. — «Elektrische Nachrichten Technik», 1933, B. 10, H. 8, S. 353.

22. Научно-технический журнал Артиллерийского управления РККА (по ОВП АУ) № 0202, 31 мая 1936 г. Рассмотрение отчета ЛЭФИ по разработке радиопеленгатора.— ЦГАСА, ф. 20, оп. 41, д. 236, л. д. 268.
23. Гуревич М. Д., Шембель Б. К. Устройство для получения периодических колебаний напряжения. Авт. свидетельство № 43934. Комитет по изобретательству при СТО. 1935 год.
24. Шембель Б. К. Описание установки ЛЭФИ для поиска и пеленгации самолетов.— ЦГАСА, ф. 20, оп. 41, д. 137, л. д. 7.
25. Отчет научно-испытательного зенитного полигона от 19 октября 1936 года.— ЦГАСА, ф. 20, оп. 41, д. 192, л. д. 245.
26. Научно-технический журнал Артиллерийского управления РККА № 00134, 19 ноября 1936 года.— ЦГАСА, ф. 20, оп. 41, д. 192, л. д. 242.
27. Отчет НИМИС за 1936 год.— ЦГАВМФ, ф. Р-943, оп. 1, д. 132, л. д. 7.
28. Письмо ГАУ НИИ-9.— ЦГАСА, ф. 20, оп. 41, д. 192, л. д. 228.
29. Тузов Г. И. Выделение и обработка информации в доплеровских системах. М., «Сов. радио», 1967.
30. Шембель Б. К. Проект радиопеленгатора «Буря».— ЦГАСА, ф. 20, оп. 41, д. 278, л. д. 432.
31. Бартон Д. К. Радиолокационные станции сопровождения.— В кн.: Современная радиолокация. М., «Сов. радио», 1969, с. 589.
32. Договор № 37/5 на разработку радиодальномера «Гроза».— ЦГАСА, ф. 20, оп. 41, д. 278, л. д. 3.
33. Бакулев П. А. Радиолокация движущихся целей. М., «Сов. радио», 1964.
34. Скольник М. Введение в технику радиолокационных систем. М., «Мир», 1965.
35. Лобанов М. М. Начало советской радиолокации. М., «Сов. радио», 1975.

Содержание

Предисловие	3
Возникновение радиолокационной тематики в ЛЭФИ	5
<i>1934 год</i>	13
Пути решения задачи	13
Тактико-технические условия	13
Выбор метода	15
Выбор длины волны	16
Необходимая мощность передатчика	17
Эскизный проект радиопеленгатора самолетов	18
Аппаратура «Раинд» и ее исследование	21
<i>1935 год</i>	34
Аппаратура «Сталь» и ее исследование	34
Прием доплеровского сигнала	36
Приемник	38
Передатчик	41
Отладка аппаратуры и ее исследование	44
Испытания	47
<i>Другие работы 1935 г.</i>	49
Полярная диаграмма вторичного радионизлучения самолета	49
Работы по импульсному методу радиобнаружения самолетов	50
<i>1936 год</i>	51
Радиопеленгатор «Буря»	53
Аппаратура «Стрела»	61
<i>1937 год</i>	63
Радионавигатор самолетов РН-4	66
Радиопеленгаторы самолетов «Буря-2» и «Буря-4»	70
Радодальномер «Гроза»	73
Заключение	75
Список литературы	79