

М.К. Размахнин

Радиолокация без формул, но с картинками

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 53
ББК 22.3
М11

М11 **М.К. Размахнин**
Радиолокация без формул, но с картинками / М.К. Размахнин – М.: Книга по Требованию, 2023. – 126 с.

ISBN 978-5-458-34837-9

В современном мире радиолокационную станцию можно встретить всюду: на улице, в порту, в подземном туннеле. Самое широкое применение радиолокация нашла в военном деле и научных исследованиях. Во всех этих областях «трудятся» тысячи радиолокационных станций. Среди них есть такие, которые умещаются в очках, но есть и такие, которые весят сотни тонн. В этой брошюре, написанной на основе материалов отечественной и зарубежной периодической печати, популярно рассказывается, что такое радиолокация, чем она занимается, почему играет такую важную роль в современном мире. В книге нет ни одной формулы, но зато много занимательных рисунков, которые помогут понять некоторые сложные вопросы. Книга рассчитана на широкий круг читателей, интересующихся разнообразным применением радиоэлектроники. Прочтя ее, вы узнаете много интересного и неожиданного о возможностях радиолокации.

ISBN 978-5-458-34837-9

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2023
© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2023

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первоизданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.

ния. Встречающиеся в книге сложные ситуации перенумерованы и разобраны в строгом соответствии с их нумерацией. Каждый раз отмечаются и положительные, и отрицательные стороны рассматриваемых методов и явлений. Тут автор старался быть объективным. И все-таки эта книжка ни в коем случае не может служить даже учебным пособием. Интеллигентного дилетанта она так и оставит дилетантом в области радиолокации, разве что пробудит интерес к ней. Это и есть программа-максимум автора.

Редакция. Благодарить кого-нибудь будете?

Автор. А как же! В первую очередь, конечно, рецензентов за их кропотливую и ничем практически не вознагражденную работу по оценке рукописи и исправлению ее недостатков

Хочу выразить признательность всему коллективу издательства «Советское радио», заслуженно пользующемуся авторитетом среди радиоспециалистов, за то, что они рискнули предоставить мне возможность издать эту не совсем строгую в научном смысле книжку.

И последнее. Поскольку книга все-таки научно-популярная, автор в процессе поиска наиболее простой формы изложения не очень простых вещей мог несколько исказить истинную картину. Заранее приношу свои извинения дотошным читателям, которые обнаружат какие-нибудь неточности. А тем из них, кто пришлет свои замечания в адрес издательства, в дополнение к извинениям выражаю еще и признательность.

Пояснение

Читателя полагается заинтриговать или хотя бы заинтересовать. Иначе при постоянной нехватке времени он вряд ли прочтет больше одной страницы книги, о которой раньше ничего не слышал. Поневоле позавидуешь авторам учебников, ведь в наше время даже рядовой учебник по тиражу и числу «завоеванных» читателей вполне может конкурировать с произведениями классиков и признанных корифеев детектива. И каких читателей! Молодежи и людей среднего возраста. Уж они-то умеют экономить время и весьма требовательны к качеству произведения.

Ну что же, начнем с загадки. Перед Вами, уважаемый читатель, страница из книги. Как Вы думаете, какой?

Загадка вроде бы простая. Конечно же, это страница из какой-нибудь математической работы или уж, по крайней мере, из трактата по теоретической физике. И все-таки это не так, вернее не совсем так. Конечно, без математики здесь не обошлось, как впрочем и в любой современной специальной книге. А название ее «Теоретические основы статистической радиолокации». Ну вот мы и встретились со словом, вынесенным на обложку нашей книги. Это радиолокация — область радиоэлектроники, в которой для описания основ теории необходимы такие сложные выкладки, что они не всегда по силам даже людям с высшим образованием. А ведь в отличие от чистой математики или теоретической физики с радиолокацией мы сталкиваемся буквально на каждом шагу. Да и число специалистов, непосредственно занятых развитием теоретической радиолокации, созданием радиолокационной техники и обслуживанием радиолока-

$$\hat{\lambda}_n = \sum_{l=-N}^N \bar{\Lambda}_n^{(l)} \sum_{k=1}^n C_{(l)ka} [z_{(l)a} + K_{(l)a} (\hat{\lambda}_a + \Delta_{(l)a} - \bar{\lambda}_a)] + \bar{\lambda}_n, \quad (6.6.78)$$

где

$$C_{(l)} = [A_{(l)} + V]^{-1}; \quad \bar{\Lambda}_n^{(l)} = \frac{\Lambda_n^{(l)}}{\sum_{k=-N}^N \Lambda_n^{(k)}}$$

$$\Lambda_n^{(l)} = P(y | \hat{\lambda} + \Delta_{(l)}) \left[\frac{\det(A_{(l)}^{-1} + R)}{\det A_{(l)}^{-1}} \right]^{-1/2} \times$$

$$\times \frac{\exp \left\{ -\frac{1}{2} [z_{(l)} + A_{(l)} (\hat{\lambda} - \Delta_{(l)} - \bar{\lambda})] + (A_{(l)}^{-1} - C_{(l)}) [z_{(l)} + A_{(l)} (\hat{\lambda} - \Delta_{(l)} - \bar{\lambda})] \right\}}{\exp \left\{ -\frac{1}{2} z_{(l)}^T A_{(l)}^{-1} z_{(l)} \right\}} =$$

$$= P(y | \hat{\lambda} + \Delta_{(l)}) \frac{P_{\text{св}}(l)}{P_{\text{м}}(l)}. \quad (6.6.79)$$

Обычный переход в (6.6.79) к непрерывному наблюдению с учетом диагональности $A_{(l)}$ дает

$$\hat{\lambda}(t) = \sum_{l=-N}^N \bar{\Lambda}^{(l)}(t) \int_{t_0}^t c_{(l)}(t, \tau) [z_{(l)}(\tau) + K_{(l)}(\tau) (\hat{\lambda}(\tau) - \Delta_{(l)}(\tau) - \bar{\lambda}(\tau))] d\tau + \bar{\lambda}(t), \quad (6.6.80)$$

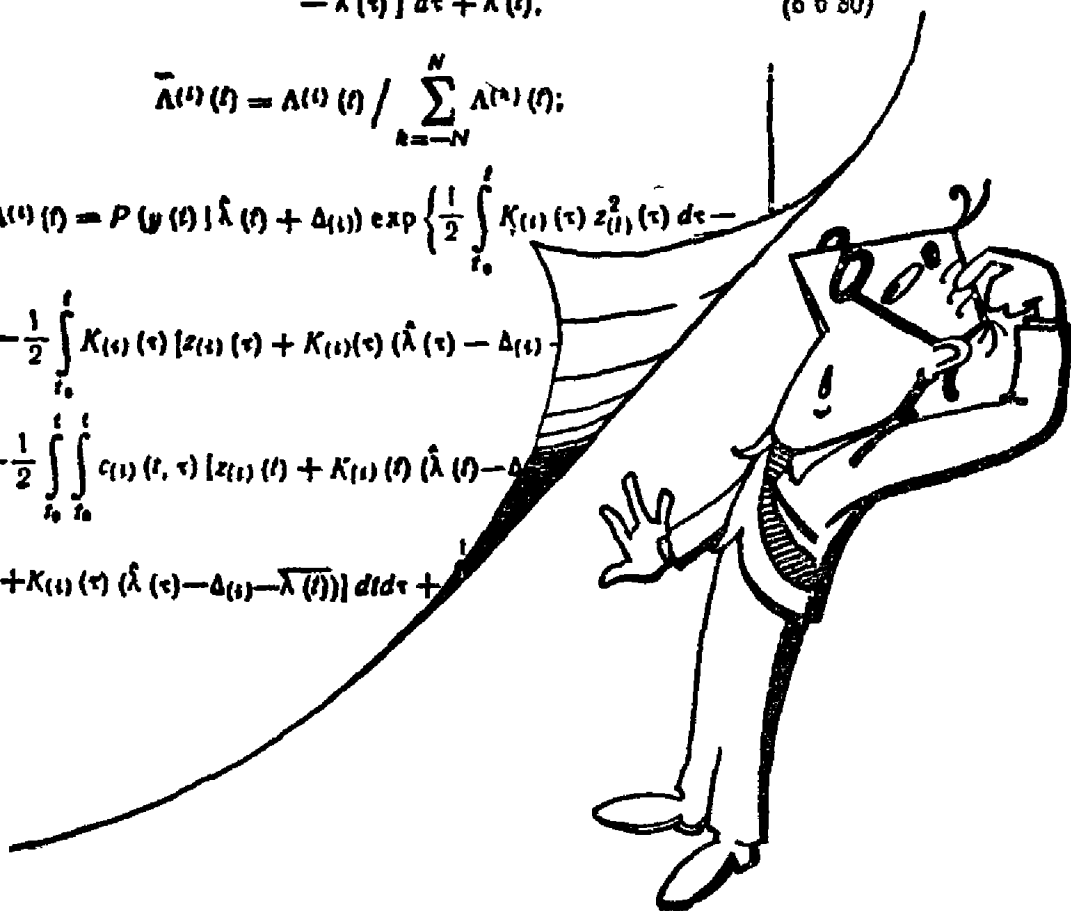
$$\bar{\Lambda}^{(l)}(t) = \Lambda^{(l)}(t) / \sum_{k=-N}^N \Lambda^{(k)}(t);$$

$$\Lambda^{(l)}(t) = P(y(t) | \hat{\lambda}(t) + \Delta_{(l)}) \exp \left\{ \frac{1}{2} \int_{t_0}^t K_{(l)}(\tau) z_{(l)}^2(\tau) d\tau - \right.$$

$$- \frac{1}{2} \int_{t_0}^t K_{(l)}(\tau) [z_{(l)}(\tau) + K_{(l)}(\tau) (\hat{\lambda}(\tau) - \Delta_{(l)}(\tau) - \bar{\lambda}(\tau))]^2 d\tau +$$

$$+ \frac{1}{2} \int_{t_0}^t \int_{t_0}^t c_{(l)}(t, \tau) [z_{(l)}(t) + K_{(l)}(t) (\hat{\lambda}(t) - \Delta_{(l)}(t) - \bar{\lambda}(t))] \times$$

$$+ K_{(l)}(\tau) (\hat{\lambda}(\tau) - \Delta_{(l)}(\tau) - \bar{\lambda}(\tau))] d\tau d\tau +$$



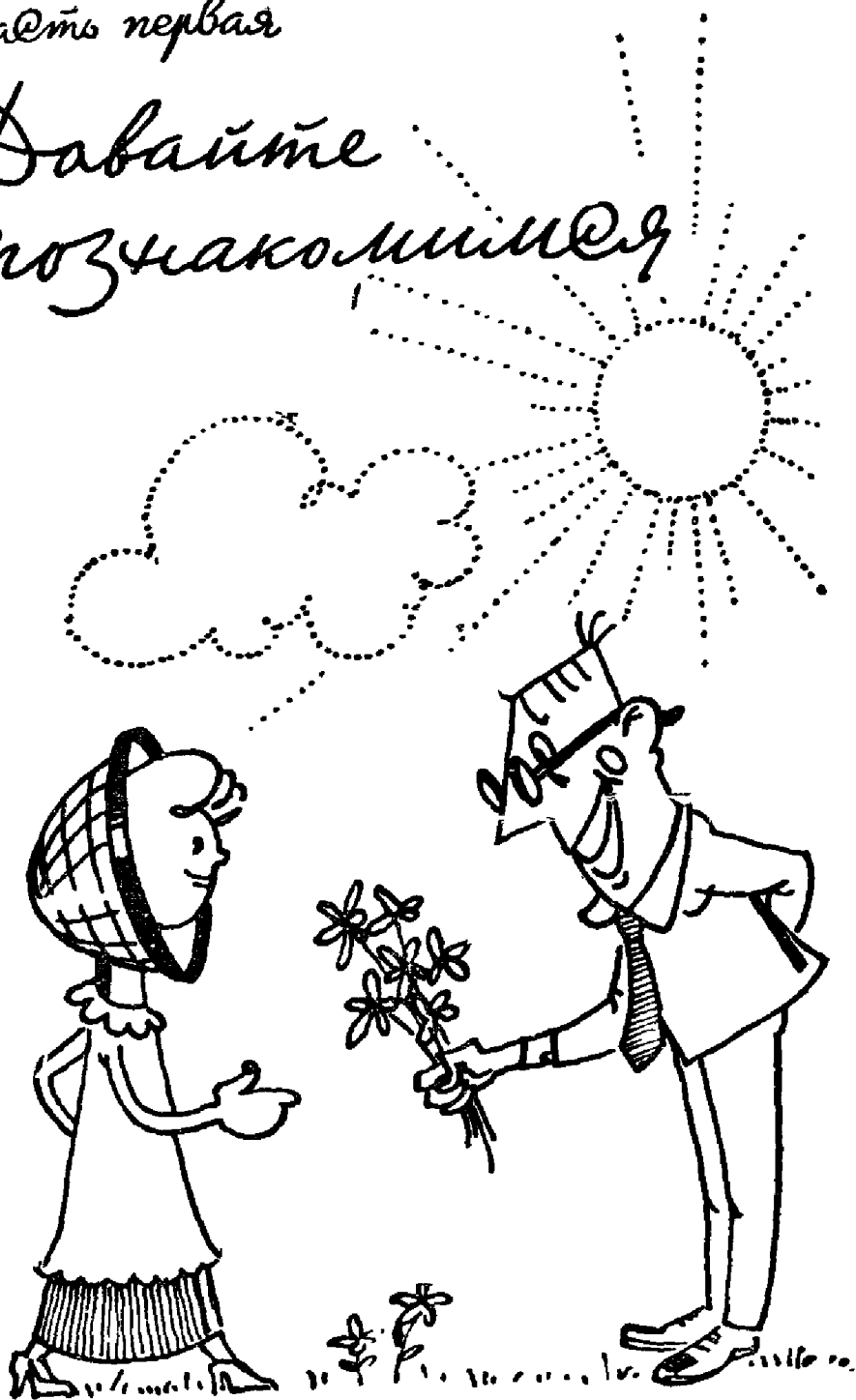
ционных станций значительно больше числа «чистых» математиков и физиков.

Теперь самый подходящий момент объяснить, для чего написана эта книга и что из нее может почерпнуть читатель взамен затраченного времени. Конечно, это не книга для специалистов в области радиолокации и не учебник по радиолокации. Это скорее попытка популярно объяснить, что такое радиолокация, чем она занимается, почему она играет такую важную роль в современном мире и почему она стала делом жизни огромной армии энтузиастов.

Раз уж мы не рассчитываем на читателей-специалистов, то попытаемся обойтись без формул (приведенная в качестве загадки страшная страница не в счет). Будем объяснять, как говорится, на пальцах. А на помощь этому испытанному древнему методу привлечем картинки, ведь говорят, что лучше один раз увидеть, чем сто раз... прочесть (может быть, сто раз это уж слишком, хотя в качестве полемического приема и вполне приемлемо). Однако количество информации, содержащейся в картинке, на самом деле значительно превышает количество информации, которое можно передать в тексте, занимающем ту же площадь. Чтобы убедиться в этом, попробуйте подробно описать то, что Вы видите на любой из приведенных ниже картинок, и потом прикиньте, сколько потребуется места, чтобы разместить Ваш текст, набранный даже мелким шрифтом. Итак...

Часть первая

Давайте
познакомимся



Что такое радиолокация?

Этот вопрос почти наверняка не вызовет затруднений у читателя. Хотя и не все непосредственно занимаются радиолокацией, но журналы, телевидение, популярные и документальные кинофильмы достаточно хорошо познакомили нас с вращающимися антеннами и серьезными, сосредоточенными лицами операторов, которые вглядываются в слабо светящиеся экраны, мерцающие таинственными световыми пятнами — отметками целей. На этом уровне с радиолокацией знакомы все. Попробуем теперь несколько расширить и углубить наши познания в этой области.

Начнем с определения. Для весомости возьмем самый авторитетный источник — Большую Советскую энциклопедию: «Радиолокация — обнаружение и определение местоположения различных объектов в воздухе, на воде и на суше посредством радиоволн».

Ну как, все понятно? Не совсем? Значит, надо объяснить.

Итак, излучаем радиоволну в пространство (это делает передатчик) и ждем, когда появится отраженный сигнал. О его приходе нас известит приемник радиолокационной станции, который снабжен огромной антенной для улавливания слабых отраженных сигналов. Если вокруг нас нет никаких предметов, которые отражали бы радиоволны, то мы ничего не дождемся. Но вероятнее всего, что радиоволна все-таки встретит на своем пути какое-то препятствие. В этом случае происходит либо отражение радиоволны, либо ее рассеяние. При отражении та часть радиоволны, которая попадает на отражающий объект, сохраняет свою структуру, но изменяет направление движения. Если отраженная радиоволна попадет на антенну, то в приемнике радиолокационной станции появится довольно сильный сигнал. И чем больше площадь отражающего объекта, тем сильнее принятый сигнал и тем отчетливее отметка от цели на экране индикатора. Но ведь отражающая поверхность может быть расположена так, что радиоволна уйдет в другом направлении. Тогда никакого отраженного сигнала не

доступит на антенну нашего приемника. Специалисты в таких случаях говорят, что имеет место зеркальное отражение радиоволн.

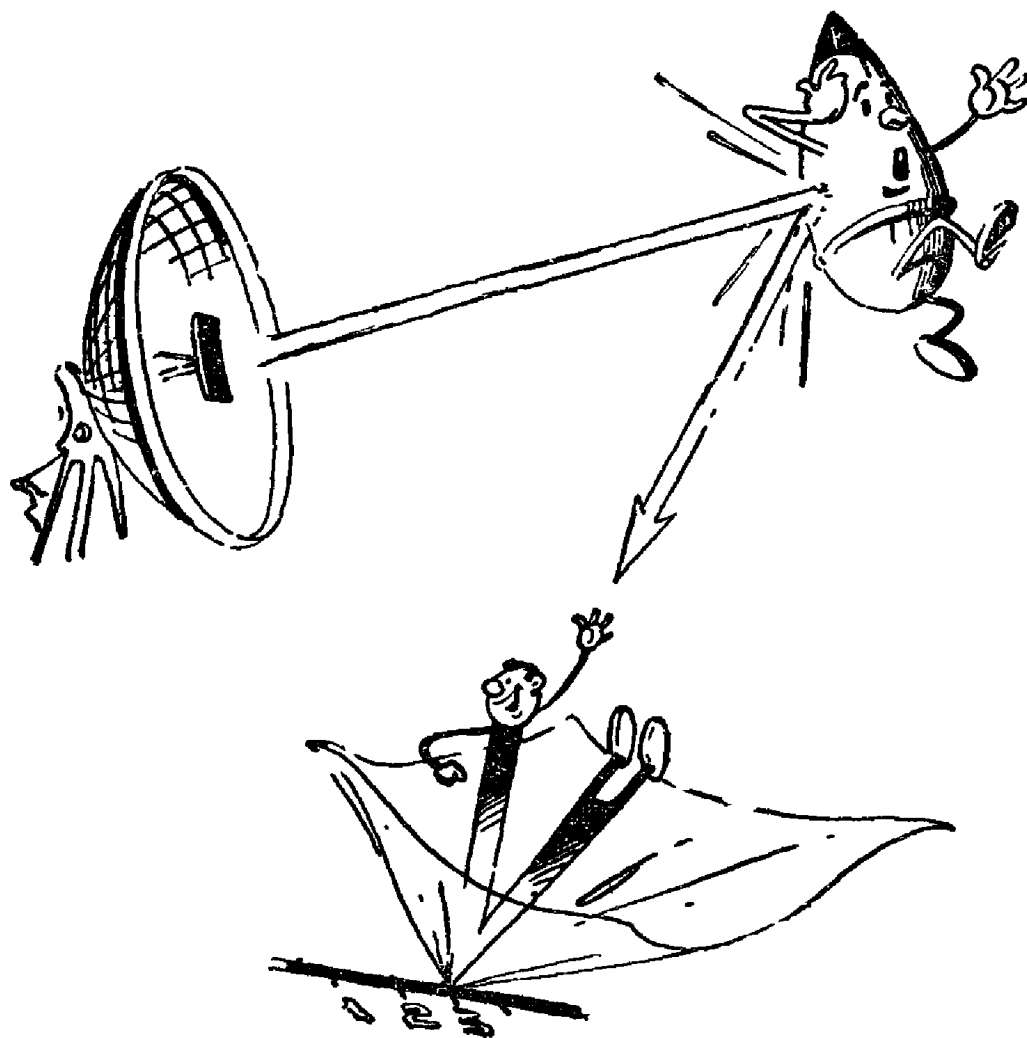
Это явление легко смоделировать в домашних условиях. Для этого нужно лишь маленькое зеркало и солнышко в окошке. Оно и будет выполнять роль передатчика радиолокационной станции. Зеркально отражающий объект — зеркальце, а в качестве приемника отраженного сигнала можно использовать, например, обычную кошку. Пока солнечный зайчик будет бегать по стенам, кошка будет спокойно сидеть и недоуменно смотреть на Вас (отраженный сигнал не попадает в приемник). Но как только световое пятнышко попадет на нее, кошка зажмурится, и тем сильнее, чем больше наше зеркало. Сигнал принят! Правда, дальше проводить моделирование обычно не удается. Кошка убегает и потом еще с неделю к Вам не подходит. Но зато истина установлена и Наука торжествует. А вообще этот эксперимент лучше проводить мысленно. Он и так довольно убедителен.

Теперь немного о рассеянии. Рассеивающий объект можно представить себе состоящим из огромного числа очень маленьких зеркал, направленных в разные стороны. Отраженные сигналы в этом случае расходятся практически по всем направлениям, но каждый из них очень слабенький. Какой-нибудь сигнал, может быть даже несколько, обязательно попадет на антенну радиолокатора, и мы зарегистрируем наличие цели. Правда, для этого радиолокационный приемник должен быть очень чувствительным.

Пока мы говорили только о геометрической форме отражающих объектов. Но на величину отраженного сигнала влияют и их физические свойства. Лучшее всего отражают радиоволны металлические предметы и вообще все материалы, которые являются хорошими проводниками. Лишь небольшая часть энергии падающей волны поглощается такими материалами, и величина отраженного сигнала почти не отличается от величины сигнала, падающего на объект. Другие материалы сильнее поглощают радиоволны и отраженный от них сигнал слабее. Но ту или иную часть энергии падающего сигнала рассеивает или отражает любое препятствие, встречающееся на пути радиоволн. Даже такие «эфирные создания», как облака, и те дадут отметку на экранах чувствительных радиолокационных станций.

Итак, мы уже знаем, что для проведения радиолокационных наблюдений нам нужен передатчик, чувствительный приемник с антенной, сигнал и какой-нибудь отражающий объект. Но мы еще не знаем, как организовать их совместную работу в тех или иных случаях. Существует довольно много схем построения радиолокационных станций, и каждой схеме соответствует тот или иной принцип работы станции. Мы рассмотрим два основных типа радиолокаторов.

Импульсный радиолокатор излучает радиоволны в виде коротких радиоимпульсов, длина каждого из них несколько тысячных или миллионных долей секунды (одним из таких радиоимпульсов может служить отрезок синусоидального колебания). В момент излучения передатчиком радиоимпульса приемник радиолокатора отключают, чтобы мощный передаваемый сигнал не повредил его. Как только передатчик отключают, так сра-



зу же включают приемник, который ждет появления слабого отраженного сигнала. Через некоторое время, когда придет отраженный сигнал или исчезнет всякая надежда на его появление, снова включают передатчик и отключают приемник. Такой цикл повторяют непрерывно, пока станция ведет радиолокационное наблюдение.

Работа такого радиолокатора напоминает поведение человека, который любит послушать обычное эхо. Каждый из нас знает немало мест, где эхо слышно особенно хорошо. Найдите такое место, крикните какое-нибудь заветное слово и прислушайтесь. Если Вам повезло и Вы нашли особенно удачное место, то эхо можно услышать два или даже три раза. Когда эхо замолкнет, можете крикнуть еще раз, и снова услышите ответ. Но если кричать непрерывно, то Вы ничего не услышите, так как сами себя оглушаете криком. Так и радиолокационная станция прекращает излучение, чтобы можно было принимать слабые отраженные радиосигналы (кстати, специалисты называют их эхо-сигналами).

Но есть все-таки станции, которые непрерывно излучают радиоволны — это *станции с непрерывным излучением*. Как же они принимают отраженные сигналы? Радиоволны — это электромагнитные колебания той или иной частоты. Пусть мы излучаем сигнал на частоте № 1. Тогда при отражении от неподвижного препятствия принимаемое радиоэхо будет иметь ту же частоту, а при отражении от движущегося объекта частота сигнала изменится. Если объект приближается к нам, частота будет выше, если удаляется, — ниже. Проявление этого эффекта* на звуковых частотах можно наблюдать, когда проходит поезд, непрерывно подающий гудки. Пока он приближается, мы слышим довольно высокий звук, когда удаляется, звук становится ниже. Этот пример приводится в учебнике физики для средней школы, так что по-видимому, известен всем.

Приемник станции с непрерывным излучением настроен таким образом, чтобы сигналы на частоте передатчика не принимались совсем. Сигналы на более высоких или более низких частотах таким приемником принимаются и регистрируются. Поэтому станция «не видит» не-

* По имени ученого, который впервые заметил и описал этот эффект, он называется эффектом Допплера

подвижных объектов, ведь отраженные от них эхо-сигналы имеют ту же частоту, что и излучаемые радиоволны. Зато все движущиеся цели будут замечены и отметки от них появятся на экране индикатора. К сожалению, такие станции не позволяют определить дальность до обнаруженной цели (в дальнейшем мы будем называть их доплеровскими радиолокаторами).

Созданы станции с непрерывным излучением, в которых применяются более сложные методы передачи сигналов, позволяющие измерить и дальность до объекта. Такие станции меняют частоту излучения во время работы, поэтому их называют станциями с переменной частотой излучения. Пусть, например, в первую секунду излучают сигнал на частоте № 1, во вторую — на частоте № 2 и так далее, скажем, до десятой секунды, когда излучается сигнал на частоте № 10. На одиннадцатой секунде снова излучаем сигнал на частоте № 1, на двенадцатой — на частоте № 2 и так далее. Приемник станции может принять эхо-сигнал на всех частотах, кроме той, которая в этот момент излучается. Представим себе, что в момент передачи частоты № 6 (шестая секунда) в приемнике появляется сигнал на частоте № 2, который был послан на второй секунде. Нетрудно подсчитать, что сигнал пришел через четыре секунды. Отсюда, зная скорость распространения радиоволн (она равна скорости света), определяем путь, пройденный радиоволнами, а поделив его пополам, найдем и дальность до объекта. Станция может наблюдать и неподвижные и движущиеся объекты. Правда, в некоторых случаях приходится делать поправку на эффект Доплера для движущихся целей (но это уже довольно тонкие вещи и мы пока не будем в них углубляться).

В настоящее время создано огромное число различных радиолокационных станций, которые отличаются и выполняемыми задачами, и схемами построения, но все возможные разновидности так или иначе укладываются в те два основных типа, которые мы сейчас рассмотрели.

Два слова о содержании следующих глав. В первой части книги мы продолжим рассказ о том, где и как применяются те или иные радиолокационные станции, во второй подробно рассмотрим, как работает современная радиолокационная станция. Это то, что будет дальше, а пока расскажем