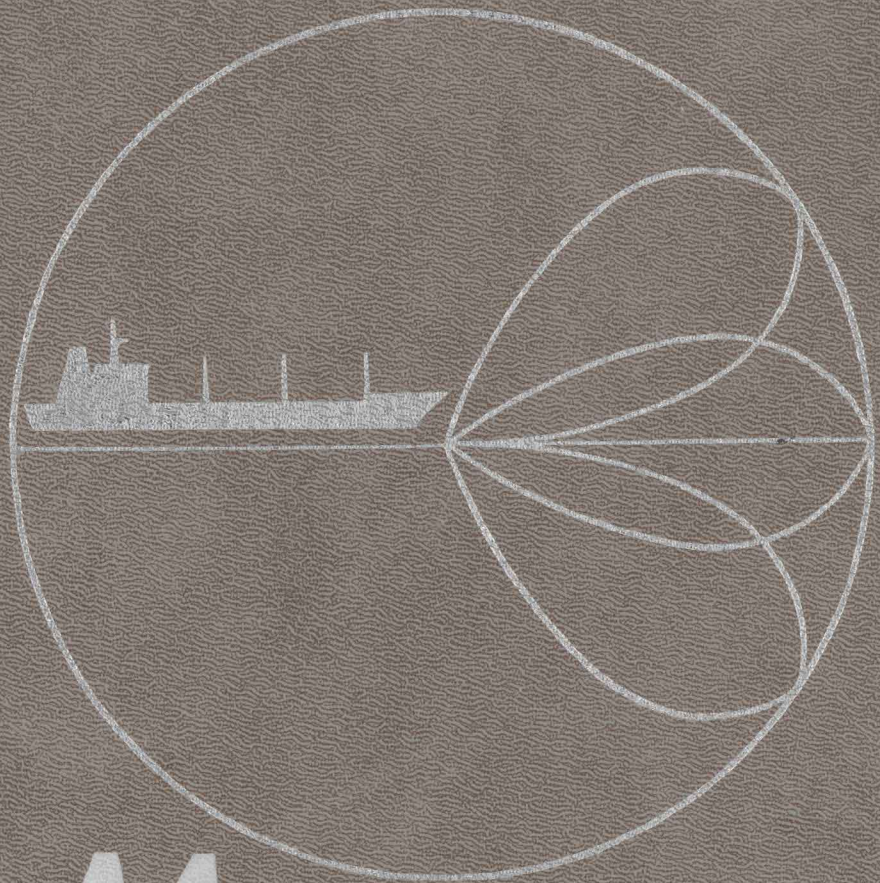




Морская радио- ЛОКАЦИЯ

СУДОСТРОЕНИЕ

МОРСКАЯ РАДИОЛОКАЦИЯ

Под редакцией
д-ра техн. наук проф. В. И. ВИНОКУРОВА



ЛЕНИНГРАД «СУДОСТРОЕНИЕ» 1986

ББК 32.95

М79

УДК 629.12.018.76 : 621.396.96

Авторы: В. И. ВИНОКУРОВ, В. А. ГЕНКИН,
С. П. КАЛЕНИЧЕНКО, А. З. КИСЕЛЕВ, В. И. ЩЕРБАК

Рецензенты: И. Е. Островский, С. М. Латинский

М79 **Морская радиолокация**/Под ред. В. И. Винокурова.— Л.: Судостроение, 1986.— 256 с., ил.

ИСБН

В книге приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований в области морской радиолокационной техники последних лет. Рассмотрены характеристики радиолокационных сигналов и специфика отражения этих сигналов от морской поверхности. Раскрыты особенности судовых радиолокационных станций (РЛС) с учетом влияния морских условий на характеристики их работы.

Книга предназначена для широкого круга специалистов, занимающихся разработкой, проектированием и эксплуатацией РЛС, а также для аспирантов и студентов радиотехнических специальностей.

М 3605030000—078 30—87
048(01)—86

32.95

© Издательство «Судостроение», 1986 г.

В Основных направлениях экономического и социального развития СССР на 1986—1990 годы и на период до 2000 года. Особое внимание уделено ускорению научно-технического прогресса в целях повышения эффективности общественного производства. На морском транспорте предполагается значительно улучшить использование флота, ускорить создание и внедрение передовой техники и технологии. В решении указанных задач важную роль играет обеспечение судов эффективными информационными средствами, в том числе и радиолокационными.

Применение радиолокационных станций (РЛС) на судах связано со спецификой морских условий, в которых эти станции должны работать. Существенный рост числа судов мирового торгового флота в последние десятилетия выдвигает новые требования к судовым радиолокационным средствам.

Круг проблем, охватываемых понятием морская радиолокация, широкий. Данная книга отвечает только на отдельные вопросы.

В гл. 1 рассмотрены влияние взволнованной морской поверхности и приводного слоя атмосферы на характеристики сигнала, отраженного морскими объектами (судами, береговой чертой и т. п.), а также характеристики пассивных помех, образованных отражением от моря. Исследуется влияние биологических объектов, состояния приводного слоя атмосферы (наличие рефракций), термиков (пузырей и струй с повышенной влажностью и температурой, появляющихся в приводном слое атмосферы) и других образований на радиолокационное обнаружение морских целей.

В гл. 2 и 3 рассматривается использование различий в спектральных характеристиках для выделения полезных сигналов на фоне мешающих отражений применительно к некогерентным РЛС. Анализируются упрощенные методы синтеза алгоритмов обработки сигнала, приводящие к построению эффективных устройств обнаружения целей на фоне мешающих отражений.

Гл. 4 и 5 посвящены построению сигналов со сложным законом изменения фазы и частоты во времени (сложные сигналы), позволяющих эффективно подавлять мешающие отражения от морской поверхности; разделять сигналы, отраженные от целей, движущихся с разными скоростями; обеспечивать адаптацию к сложным морским условиям. Рассмотрены особенности формирования и обработки сложных сигналов.

При изложении аналоговые и цифровые методы рассматривали как равноправные. В гл. 5 приведены только отдельные примеры построения устройств одного и другого типов. Построение аппаратуры практически не рассматривается даже в главах, близких к этому вопросу по названию.

Материал, излагаемый в книге, так или иначе связан с одной проблемой — уменьшением влияния отраженных радиоволн (пассивных помех) на обнаружение морских целей. По мнению авторов, это основной вопрос морской радиолокации, хоть и далеко не единственный.

При изложении материала авторы рассчитывали на знакомство читателя с основами радиолокации и радиотехнических систем в объеме, соответствующем радиотехническим специальностям вузов, стремились избегать, где это возможно, громоздких математических выкладок и по этой причине в ряде случаев вводили существенные упрощающие допущения.

В работе над материалом принимали участие канд. техн. наук В. Н. Попов (п. 5.1) и А. Н. Шполянский (п. 3.5), инж. С. А. Худяев и А. А. Федоров (пп. 5.5, 5.6). Авторы будут благодарны за все замечания, пожелания и научную дискуссию. Просим направлять их по адресу: 191065, Ленинград, ул. Голя, 8, издательство «Судостроение».

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ

- АКФ — автокорреляционная функция
 АМ — амплитудная модуляция
 АЦП — аналого-цифровой преобразователь
 ВАРУ — временная автоматическая регулировка усиления
 ВКФ — взаимная корреляционная функция
 ДМП — дискретная модулирующая последовательность
 ДСП — доплеровская селекция целей
 ИКО — индикатор кругового обзора
 ИМС — интегральная микросхема
 ЛЧМ — линейная частотная модуляция
 НИП — нерегулярная импульсная последовательность
 ОЗУ — оперативное запоминающее устройство
 ПЗУ — постоянное запоминающее устройство
 ПСП — псевдослучайная последовательность
 РИП — регулярная импульсная последовательность
 РЛС — радиолокационная станция
 СВЧ — сверхвысокие частоты
 СДЦ — селекция движущихся целей
 УКВ — ультракороткие волны
 УПО — устройство подавления отражений
 ФМ — фазовая манипуляция
 ФН, ВФН — функция неопределенности сигнала, взаимная ФН
 ЦВМ — цифровая вычислительная машина
 ЧМ — частотная модуляция
 ЭВМ — электронная вычислительная машина
 ЭЛТ — электронно-лучевая трубка
 ЭМС — электромагнитная совместимость
 ЭПР — эффективная поверхность рассеяния
 t — время
 f — частота
 R — расстояние
 P — мощность
 f_d — доплеровский сдвиг частоты
 D — вероятность правильного обнаружения
 F — вероятность ложной тревоги
 T_n — длительность когерентного накопления посылки, модулируемой по сложному закону
 G — усиление антенны
 P_{Σ} — мощность сигнала, отраженного от цели
 λ — длина волны
 τ — задержка во времени
 Δf — ширина спектра сигнала, в котором содержится 90 % энергии сигнала
 $\phi(\tau, f)$ — функция рассеяния морской поверхности
 $\chi(\tau, f_d)$ — функция неопределенности сигнала
 $\chi_v(\tau, f_d)$ — функция взаимной неопределенности сигнала
 $\tau_{\max}$ — максимальная задержка сигнала, при которой оценивают его параметры
 σ_0 — удельная ЭПР морской поверхности

Морская радиолокация — это область науки и техники, охватывающая методы и средства обнаружения, измерения координат, опознавания и определения параметров движения различных объектов в морских условиях с помощью отражения, переизлучения или излучения ими радиоволн [66]. Радиолокационные средства обеспечивают безопасность мореплавания, позволяют решать разнообразные задачи, возлагаемые на суда и различные морские объекты.

Последние десятилетия характеризуются следующими особенностями, важными для задач радиолокации:

пятикратным увеличением торгового флота с 1948 по 1978 гг. (число судов, водоизмещение которых превышает 100 т, достигло 69 000) [80];

увеличением интенсивности судоходства, сопровождающимся ростом аварий (ежегодно в мире гибнет около 500 судов) и опасных ситуаций, анализ судоходства в Дуврском проливе показал, что в среднем на 10^6 встреч судов 400 ситуаций содержат серьезную опасность столкновений, т. е. 6—7 ситуаций в день [162]: с 1957 по 1976 гг. произошло 2300 столкновений судов [158];

расширением географии плавания, в частности в арктических и антарктических водах, и использованием судовой авиации для ледовой разведки;

увеличением объема перевозок нефтепродуктов (танкеры дают 43 % валовой вместимости торгового флота) и возрастающей опасностью загрязнения Мирового океана: на Балтике, например, произошло 74 аварии танкеров в течение 1971—1975 гг., из них 21 столкновение и 37 посадок на мель [163];

появлением быстроходных судов на подводных крыльях и воздушной подушке;

увеличением длины тормозного пути судов из-за увеличения их длины и скорости движения (например, танкер длиной 260 м при скорости 17 уз имеет тормозной путь 2,5 км [69]);

развитием средств добычи ископаемых с морского дна и подводных аппаратов различного назначения.

Мировое сообщество отреагировало на эти изменения в основном путем установки почти на все суда РЛС, усовершенствованием параметров этих станций, внедрением систем предупреждения столкновений; включением в новые Международные правила пре-

дупреждения столкновений судов пяти новых статей, относящихся к использованию радиолокационных средств.

В конце 70-х гг. Международная морская консультативная организация приняла ряд рекомендаций, относящихся к качеству судовых радиолокационных систем предупреждения столкновений, основным требованием которых является автоматическое сопровождение многих целей (не менее 20) на фоне мешающих отражений от морской поверхности при круговом обзоре в тумане и дожде [138]. Помимо этого, для морских радиолокационных станций остается всегда актуальной задача обнаружения навигационного ограждения (буев, вех и пр.), береговой черты и целей вблизи нее в сложных метеорологических условиях.

Известны автоматизированные системы предупреждения столкновений, например «Компакт», «Диджиплот» [31], которые решают следующие основные задачи: раннее предупреждение о входе цели в зону; оценку ситуации и предупреждение об опасности столкновения (выявление опасных целей); выработку рекомендаций по изменению курса и скорости судна для исключения столкновений.

Решение этих задач основывается на анализе данных автосопровождения большого числа целей с помощью ЭВМ, выработке дистанций и времени кратчайшего сближения, опасных областей и т. п. Результаты решения отображаются на индикаторе кругового обзора в виде специальных символов и векторов.

Опыт использования этих систем [2, 159] показывает, что наиболее острыми вопросами при проектировании и эксплуатации являются автозахват целей на фоне мешающих отражений при значительном волнении моря и гидрометеорах; обеспечение автосопровождения при подходе слабоотражающей цели на расстояние 0,2... 1 мили; выработка курса и скоростей целей за малое время, обеспечивающее чувствительность системы к маневру целей; устранение перепутывания трасс близкорасположенных целей; устранение сбросов сопровождения из-за флуктуаций сигналов и потери целей в нескольких последовательных обзорах; выработка данных по целям с малой скоростью движения за короткое время; автоматизация отбора среди большого потока опасных целей для ввода их в ЭВМ и расчет точных экстраполированных координат при ограниченных вычислительных ресурсах, когда одновременное сопровождение всех целей в зоне обзора невозможно.

Повышение качества работы средств предупреждения столкновений требует использования эффективных методов подавления мешающих отражений, уменьшения вероятности попадания мешающих отражений в стробы сопровождения ЭВМ, использования дополнительных информативных признаков селекции целей и помех, а также учета особенностей работы РЛС в морских условиях.

Использование на ряде судов вертолетов и самолетов ледовой разведки, совместное применение судов и самолетов в спасательных и производственных работах на море делают актуальным для

судовых РЛС поддержание радиолокационного контакта с воздушными целями, в том числе при работе в режиме селекции движущихся целей (СДЦ).

В последние годы расширилось использование РЛС в океанологии [71, 89, 96, 134, 161]: их применяют для контроля волнения моря, в том числе спектров волнения в СВЧ и декаметровом диапазоне волн; поля ветра над океаном; ледовой обстановки.

Дополнительные возможности использования морских РЛС открываются при контроле загрязнений океанов нефтяными пленками путем анализа изменений удельной эффективной площади рассеяния (ЭПР) морской поверхности и спектров флюктуаций отраженного сигнала; использовании СВЧ и декаметровых РЛС для обнаружения и определения местоположения центров особо опасных явлений (ураганов, торнадо, цунами и др.); контроле условий конвекции в атмосфере путем наблюдения неоднородностей и метеообразований; контроле степени рефракции радиоволн над морем; наблюдении за поведением судов на качке с использованием доплеровских систем и систем с высоким разрешением по дистанции.

Важная особенность РЛС — возможность почти одновременной оценки состояния морской поверхности и атмосферы. Таким образом, морские РЛС можно рассматривать не только как средство обеспечения мореплавания, но и как средство объективного контроля за окружающей средой и ее изучения.

Понятие «морская радиолокация» включает большое количество вопросов, которые можно разбить на две группы: влияние морских условий на работу РЛС и изыскание методов построения РЛС, обеспечивающих заданное качество функционирования в морских условиях (см. рисунок).

Представление об особенностях работы морских РЛС дает анализ гидрометеорологических условий их функционирования: свойств и состояния морской поверхности и прилегающих к ней слоев атмосферы. Морская поверхность и прилегающие слои атмосферы являются взаимосвязанными средами, их можно рассматривать как некоторую сложную систему океан—атмосфера. Атмосфера и океан составляют единую механическую и термодинамическую систему двух связанных сред, которые взаимодействуют столь сложным образом, что не всегда можно отделить причину от следствия [80]. Процессы, протекающие в этих средах (волнение морской поверхности, метеообразования, неоднородность электрических свойств атмосферы и др.), оказывают влияние на работу РЛС.

Радиолокационный сигнал, поступающий на вход приемника, содержит информацию двух видов: о надводных и воздушных целях, о состоянии и характеристиках системы океан—атмосфера. Второй вид информации во многих применяемых РЛС мешает выявлению информации первого вида. Разброс и противоречивость экспериментальных радиолокационных данных по обнаружению целей связан с фундаментальными особенностями си-

Влияние морских условий
на работу РЛС

Методы построения РЛС,
обеспечивающие заданное
качество функционирования

Морской поверхности и
природного слоя атмосферы на характеристики
радиолокационных сигналов

Морских условий на работу
радиолокационной аппаратуры

Морское волнение, метеоро-
образования, термики, биологические объекты, неоднородность свойств атмосферы

Качка, переизлучение и отражение радиоволн надстройками и такелажем; влияние морской поверхности, повышение солёности, влажности, изменения температуры

Построение и обработка
радиолокационных сигналов при заданном качестве обнаружения и сопровождения целей

Обеспечение надёжной работы РЛС в морских условиях

Обеспечение надёжной работы элементов и устройств; диагностика и контроль работоспособности; унификация и взаимозаменяемость; обеспечение безопасной работы персонала

Выбор закона модуляции зондирующего сигнала; классификация целей; учет априорной информации; комплексирование, адаптация; обеспечение электромагнитной совместимости; представление радиолокационной информации

стемы океан—атмосфера, с масштабами атмосферных и океанических движений.

Морские условия и размещение РЛС на судне существенно влияют и на работу радиолокационной аппаратуры. Переотражения от надстроек приводят к увеличению боковых лепестков диаграммы направленности антенны РЛС, к появлению секторов затенения, к расщеплению главного лепестка диаграммы [77]. Чтобы уменьшить влияние этих факторов, приходится брать определенный запас по уровню боковых лепестков, что увеличивает габаритные размеры и усложняет технологию производства аппаратуры. Необходимо выбирать место расположения антенны на судне, используя экспериментальные проверки на моделях.

Качка судна на волнении приводит к смещению луча РЛС относительно плоскости горизонта, вследствие чего уменьшается вероятность обнаружения, пропускаются цели на некоторых обзорах, ухудшается точность пеленгования и измерения угла места целей [118]. Моделирование работы оператора на индикаторе кругового обзора (ИКО), сопряженном с ЭВМ, показало, что увеличение угла качки на каждые 6° приводит к потере вероятности обнаружения на 15 % и к значительному ухудшению точности измерения пеленга [160]. Это говорит о важности и сложности методов обработки и представления радиолокационной информации.

Качка — сложный нерегулярный процесс — зависит от характера волнения, глубины моря, размеров и других свойств судна, направления и скорости его движения относительно морских волн. Качка и движение судна приводят к появлению дополнительных сдвигов частоты сигнала, ухудшающих работу схем СДЦ, искажающих доплеровский «портрет» цели и ограничивающих доступное время когерентного накопления. Стабилизация антенны по бортовой и килевой качке позволяет сохранить вероятность обнаружения и точность измерения координат за счет увеличения массы антенного поста. Для устранения дополнительных доплеровских сдвигов в РЛС вводят связь с лагом, специальные устройства компенсации, связанные с системой гиросtabilизации и рассчитывающие текущие сдвиги при качке.

Работа радиолокационных средств в условиях повышенной влажности и солености, резких изменений температуры требует специфических конструкторских и технологических решений для защиты аппаратуры от вредных воздействий.

Эффективность работы радиолокационных средств определяется не только учетом особенностей морских условий работы, но и рациональным (в рамках заданного критерия) выбором радиолокационного сигнала, основные требования к которому следующие: наилучшее (в рамках заданного критерия) выявление необходимой информации, т. е. обнаружение и сопровождение целей заданного класса; подавление мешающей информации (отражений от морской поверхности и др.); выявление факторов, позволяющих классифицировать цели (к таковым можно отнести определение радиолокационной длины, спектра флюктуаций

отраженного сигнала, распределения «блестящих» точек в пространстве и др.); обеспечение условий совместного функционирования радиоэлектронных систем и устройств различного назначения (электромагнитной совместимости).

Выполнить перечисленные требования трудно. В различных условиях наилучшие результаты дают сигналы различных видов.

Размещение большого числа радиоэлектронных средств в условиях судна (в ограниченном объеме) приводит к необходимости объединения (комплексирования) средств различного назначения в целях уменьшения их массы и габаритных размеров; повышения надежности и резервирования; решения новых задач, которые средства в отдельности решить не могут [83].

Радиолокационные средства на судах должны надежно работать в течение, по меньшей мере, времени автономного плавания, т. е. несколько месяцев и более. В связи с этим необходимо обеспечить высокую надежность работы аппаратуры, создавая специфические для работы в морских условиях конструкции, применяя соответствующие элементы. Второй путь — прогнозировать работоспособность, контролируя значения различных параметров станции или их изменений во времени.

Решение перечисленных вопросов составляет содержание комплексной задачи — оборудования судов радиолокационными средствами. Эта комплексная задача является составной частью широкого направления — радиоэлектронного оборудования подвижных объектов, к которым относят и суда.

Анализ перечисленных проблем, составляющих основное содержание понятия «морская радиолокация», в рамках одной книги затруднителен и, по-видимому, нецелесообразен, поэтому авторы органичили круг рассматриваемых вопросов следующими:

влияние морских условий на радиолокационное обнаружение целей;

возможность использования различий в характеристиках нужных и мешающих отражений для выделения полезной информации;

возможность построения, формирования и обработки сигналов, обеспечивающих адаптацию к сложным морским условиям и, следовательно, позволяющих выделять полезную информацию на фоне мешающих отражений.

В книге использована принятая терминология. В отдельных случаях есть отступления. Так, сигнал авторы характеризуют единицами длины с учетом скорости распространения электромагнитных волн, т. е. вместо длительности сигнала во времени указывают расстояние, проходимое за время существования сигнала, за период модуляции и т. п.

Под терминами «широкополосный, узкополосный сигнал» подразумевают сигналы, эквивалентная пространственная протяженность которых после обработки составляет малую часть протяженности цели, сравнима или больше протяженности цели соответственно. Под термином «простой сигнал» — сигнал, у которого

база (произведение полосы на длительность) близка к единице.

«Сложный сигнал» — это сигнал с базой, большей единицы, «Сложным сигналом с малой базой» считают сигнал, пространственная протяженность которого до обработки (до сжатия) составляет малую часть просматриваемой РЛС дистанции (или малую часть от радиогоризонта). Под «сложным сигналом с большой базой» понимают сигнал, пространственная протяженность которого до обработки (до сжатия) сравнима или превышает просматриваемую дистанцию. Количественная нечеткость таких определений окупается физическим содержанием: при оценке эффективности и выборе метода обработки важно знать, от какой пространственной области мешающих отражений и цели отражается радиолокационный сигнал, так как это предопределяет пространственно-временные корреляционные свойства отраженных сигналов. Импульсный пачечный сигнал, когерентно обрабатываемый в приемнике, относят к простым или сложным сигналам, если период его повторения, пересчитанный на пространство, больше или меньше заданной просматриваемой дистанции.

При рассмотрении сигналов, в том числе и широкополосных, предполагают, что полоса частот, занимаемая их спектром, значительно меньше несущей частоты, т. е. $\Delta f \ll f_0$. Поэтому справедливо комплексное представление сигнала в виде произведения огибающей на экспоненциальную функцию случайной фазы.

При рассмотрении характеристик РЛС в большинстве случаев использован энергетический критерий, что нельзя считать удовлетворительным, так как ряд важных факторов при этом не учтен. Однако учет даже основных факторов привел бы к недопустимому возрастанию объема книги и усложнил бы ее чтение.

ВЛИЯНИЕ МОРСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ И ПРИВОДНОГО СЛОЯ АТМОСФЕРЫ НА ОБНАРУЖЕНИЕ ЦЕЛЕЙ

Морские условия весьма многообразно влияют на радиолокационное оборудование, но можно выделить три основных явления: сигналы, отраженные целями, подвержены изменениям; сигналы, отраженные от целей, принимают при наличии помех, вызванных отражением радиоволн морской поверхностью и другими специфическими отражателями; над морем существуют особые условия распространения радиоволн. Каждое из этих явлений зависит от гидрометеорологических процессов, изменяющихся во времени и охватывающих большое пространство.

Сложность создания математической модели протекающих процессов объясняет большое значение экспериментальных исследований, которые в морских условиях требуют серьезного технического и специального метрологического обеспечения и поэтому немногочисленны. На основании же малой группы экспериментальных исследований трудно учесть характер протекающих процессов. Многообразие явлений, недостаточное их исследование затрудняют в ряде случаев пользование имеющимся материалом или моделями. Необходимы хорошее понимание физики протекающих процессов и инженерная интуиция.

Атмосфера и океан составляют единую механическую и термодинамическую систему двух связанных сред, которые взаимодействуют столь сложным образом, что не всегда можно отделить причину от следствия [80]. Разброс, а иногда и противоречивость экспериментальных радиолокационных данных связаны с фундаментальными особенностями сложной системы океан—атмосфера, с масштабами атмосферных и океанических движений. Разнообразие форм протекания гидрометеорологических процессов в пространстве и времени вызвало введение следующих основных пространственно-временных масштабов системы океан—атмосфера [80]:

- планетарного (несколько недель; свыше 1000 км);
- синоптического (несколько дней; 100...1000 км);
- мезомасштаба (несколько часов; 10...100 км);
- конвективного (от нескольких минут до 1 ч; 0,1...10 км);
- микромасштаба (до нескольких минут; 0,1 км).

Для проектирования морских РЛС и оценки эффективности их использования имеют значение особенности отражений, зависящие от архитектуры целей (конфигурации), а также от наличия

взволнованной поверхности моря и особенностей распространения радиоволн; свойства мешающих отражений от морской поверхности, термиков, птиц, гидрометеоров, береговой черты; условия распространения радиоволн над океаном, определяющие степень рефракции и характер замираний сигналов.

С точки зрения радиолокации пространственно-временным масштабам системы океан—атмосфера соответствуют следующие изменения:

планетарному — условий распространения радиоволн над океаном, глобальных характеристик облачности;

синоптическому — среднестатистических параметров волнения, степени рефракции, а также облачности;

мезомасштабу — средней высоты и периода волн как функции продолжительности ветра, локальные изменения степени рефракции и характера замираний сигнала, появление и исчезновение облачности, дождя, тумана, бриза, термиков и птиц;

конвективному масштабу — высоты и периода морских волн из-за близости береговой черты, уменьшения глубины моря, изменение пространственной плотности отражений радиолокационных сигналов от термиков и птиц, параметров отражений от морской поверхности вследствие изменения угла скольжения радиоволн вдоль дистанции и влияния загрязнений;

микромасштабу — медленные флюктуации отраженных сигналов из-за локальных изменений градиента показателя преломления атмосферы в приводном слое, пространственной неоднородности морских волн.

Применительно к морской радиолокации целесообразно ввести два дополнительных масштаба:

пикомасштаб — время 1...10 с, соответствующее флюктуациям сигнала из-за локальных изменений положений интерференционных лепестков диаграммы направленности антенны и из-за маневра цели; участки пространства 10...40 м, соответствующие протяженности гребней океанических волн, длинам прибрежных волн и высоте приводных волноводов;

наномасштаб — время доли секунд — 1 с, соответствующее проходу направления на цель диаграммой направленности антенны, времени корреляции сигнала, отраженного целью, среднему времени существования отражения от гребня волны; масштаб учитывает участки пространства 1...10 м, соответствующие изменениям характеристик капиллярных морских волн (морской ряби), ожидаемому размеру «блестящих» точек цели и разрешающей способности РЛС со сверхразрешением. Шкала масштабов позволяет глубже анализировать данные, получаемые с помощью РЛС, учитывать нестационарный и неоднородный в пространстве характер протекающих процессов. РЛС — инструмент для всех районов плавания судов во все сезоны года. Хотя период обзора и время принятия решения об обнаружении цели ограничены секундами, на РЛС воздействует весь спектр изменений гидрометеорологических факторов.

Большое влияние на работу РЛС оказывает взволнованная поверхность моря. Представляют интерес следующие особенности морского волнения:

зависимость высоты волны не только от скорости ветра, но и от продолжительности его действия — длины разгона (рис. 1.1); например, пятикратное увеличение длины разгона (от 10 до 50 миль) приводит к увеличению высоты волн в 2 раза при одной и той же скорости ветра 20 уз [80];

свойства морской поверхности описывают параметром — высотой главной волны $H_{1/3}$, определяемый как средняя высота

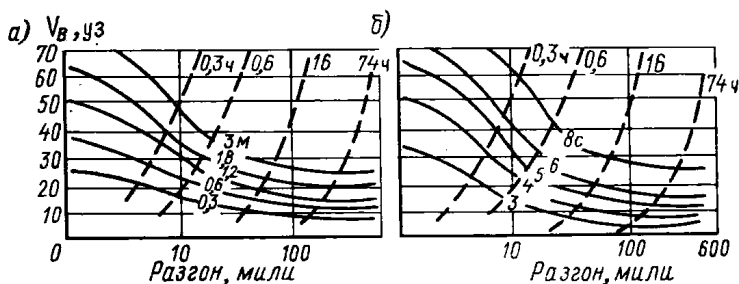


Рис. 1.1. Диаграммы Дербишайра связи скорости $v_{\text{в}}$ и длины разгона ветра с максимальной высотой (а) и периодом следования (б) морских волн, усредненные за 10 мин измерений:

--- — продолжительность действия ветра, при которой устанавливаются максимальные высота и период волны

одной трети самых высоких волн (высота этой волны практически совпадает с визуально определяемой);

групповой характер волн (в последовательности нескольких волн, постепенно нарастающих по высоте, появляется особенно высокая волна, после которой следуют волны уменьшающейся высоты); среднее число волн в группе 4...6; средний период между группами составляет 10...40 периодов волн [41];

существование наряду с длинными гравитационными волнами коротких, а также капиллярных волн (ряби) с небольшой скоростью перемещения [60];

изменение средних высот, периодов и спектра волн в открытом море по сравнению с прибрежной акваторией;

орбитальный характер движения частиц воды в поверхностных гравитационных волнах;

неоднородность ряби вдоль длины волны [47];

выглаживание ряби из-за воздействия внутренних волн и загрязнений, появление сликов (гладких пятен и полос) из-за присутствия в поверхностном слое воды загрязнений — тонких пленок нефти, водорослей и т. п. [80];

появление при увеличении скорости ветра барашков, обрушение волн, образование полос пены и возникновение в нижнем слое атмосферы над океаном облака брызг (капельной фракции).

Перечисленные факторы подтверждают, что рассеяние электромагнитных волн морской поверхностью представляет собой сложный физический процесс.

Важной составной частью системы океан—атмосфера являются неоднородности нижнего слоя атмосферы; термики; биологические объекты; облака и гидрометеоры; неоднородности показателя преломления атмосферы над морем. Эти объекты, как и морская поверхность, создают многочисленные мешающие отражения, затрудняющие обнаружение малых судов, знаков навигационного ограждения и т. п.

В ряде случаев изучение структуры радиолокационных отражений от морской поверхности и перечисленных выше объектов в атмосфере может дать полезные сведения для океанологии. Возможность почти одновременного анализа отражений от различных элементов системы океан—атмосфера является важным преимуществом морских РЛС перед традиционными датчиками.

Многие радиолокационные характеристики или в целом РЛС анализируют с помощью уравнения радиолокации [111], связывающего дальность обнаружения R с энергетическим потенциалом РЛС, свойствами цели и трассы распространения радиоволн,

$$R = \sqrt[4]{C\sigma} V e^{-0.115\gamma_{\text{тр}} R}; \quad (1.1)$$

$$C = \frac{P_n B G^2 \lambda^2 \eta L_n}{(4\pi)^3 P_{\min} q^2}, \quad (1.2)$$

где C — энергopotенциал РЛС; $\gamma_{\text{тр}}$ — удельное ослабление сигнала на трассе распространения до цели (в одну сторону), дБ/км; P_n — импульсная мощность передатчика; $B = \Delta F T_n / Q$ — коэффициент сжатия по мощности для сложных сигналов, равный базе сигнала (для простых сигналов $B = 1$); ΔF — полоса зондирующего сигнала; T_n — общее время когерентного накопления; Q — скважность сигнала; G — коэффициент усиления антенны; λ — длина радиоволны; η — КПД тракта; L_n — коэффициент потерь по мощности на обработку сигнала в устройствах РЛС; $P_{\min}$ — чувствительность приемника по входу устройства сжатия сигнала; q^2 — отношение сигнал/шум по мощности, требуемое для обнаружения цели с заданной вероятностью при фиксированной вероятности ложных тревог, которое в основном зависит от закона распределения огибающей отраженного сигнала, характера флуктуаций цели (дружные или независимые флуктуации отраженных сигналов в пакете), числа зондирований в пакете и числа элементов разрешения.

При наличии помех вместо величины $P_{\min}$ используют мощность помехового сигнала P_n , если $P_n \gg P_{\min}$, или $P_{\min} + P_n$, если они сравнимы по значению. Сложение $P_{\min}$ и P_n оправдано лишь для приближенного анализа, так как закон распределения векторной суммы помехи и сигнала в общем случае отличается от закона распределения составляющих. В формуле (1.1) σ — эффективная поверхность рассеяния (ЭПР) цели, м², — изотропный эк-