

А. Е. Ананенков, В. А. Усачев,
В. Н. Скосырев

КОНЦЕПЦИЯ СОЗДАНИЯ СОВРЕМЕННОЙ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ СТАНЦИИ КОНТРОЛЯ ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ

Рассмотрена актуальная задача мониторинга прибрежной зоны и районов освоения шельфа. Предложена концепция построения единой информационной системы контроля прибрежной зоны и пути ее реализации. Разработаны варианты создания нового поколения береговых радиолокационных станций на базе новых отечественных технологий.

E-mail: radardesign@mail.ru

Ключевые слова: береговая радиолокационная станция, сверхкороткоимпульсная радиолокация, сверхширокополосные сигналы.

Создание высокоинформативных систем мониторинга прибрежной 200-мильной зоны и арктического шельфа является актуальной проблемой для многих стран. В нашей стране в разные периоды предпринимались попытки по решению этой задачи. Системы мониторинга прибрежной зоны (СМПЗ) в качестве основных информационных датчиков использовали наземные и самолетные радиолокационные системы (РЛС) различной конфигурации. В последнее время дополнительно стала использоваться информация с космических аппаратов (до сих пор практически только оптика).

Перед современной высокоинформативной системой мониторинга прибрежной зоны стоят следующие задачи:

- круглосуточный и всепогодный мониторинг воздушного, надводного и наземного пространства с обнаружением всех классов целей, включая малоразмерные и низкоскоростные;
- обнаружение и трассовое сопровождение широкого класса целей, в том числе на фоне отражений от подстилающей поверхности;
- навигационное обеспечение задачи судовождения и навигации летательных аппаратов, в том числе с возможностью организации интерактивной обратной связи;
- охрана береговой зоны, распознавание типов объектов и выдача целеуказаний средствам оперативного реагирования (что требует оценки высоты цели).

С учетом возможностей, которые обеспечивают современные информационные датчики, СМПЗ предлагается построить по схеме, представленной на рис. 1.



Рис. 1. Состав СМПЗ

В состав системы входят:

- пункт сбора и обработки информации;
- загоризонтная РЛС (ЗгРЛС) типа «Подсолнух»;
- многофункциональная береговая РЛС (МфРЛС), в том числе в мобильном исполнении;
- спутниковые средства оптического и радиолокационного мониторинга и связи, т.е. искусственные спутники Земли (ИСЗ);
- авиационные средства мониторинга и реагирования, в том числе дистанционно пилотируемые летательные аппараты (ДПЛА).

Безусловно, из всех информационных датчиков контроль всей 200-мильной зоны могут обеспечить только спутниковые радиолокационные системы высокого разрешения при условии создания достаточно многочисленной орбитальной группировки. Однако в настоящее время на орбитах практически отсутствуют спутниковые РЛС, а имеющиеся оптические и телевизионные датчики не способны работать в сложных метеоусловиях, характерных для многих районов нашей прибрежной зоны.

Загоризонтные РЛС являются достаточно универсальными датчиками, в части обеспечения значительной дальности обнаружения, однако у них есть существенный недостаток — значительная (0...80 км) «мертвая зона», поэтому для обеспечения обнаружения на всех дальностях необходимо вместе с ЗгРЛС использовать береговые РЛС (БРЛС) традиционного построения.

Применяемые в настоящее время БРЛС с некоторой долей условности можно разделить на 2 типа:

- 1) БРЛС, обеспечивающие информацией систему управления движением судов (СУДС) во внутренних акваториях;
- 2) БРЛС, входящие в систему охраны прибрежной зоны.

БРЛС первого типа (как правило унифицированные с серийными судовыми навигационными РЛС) располагают в районах с интенсивным судовым движением, обеспечивая, как правило, сплошное радиолокационное поле в районе судоходства. Технические характеристики таких БРЛС должны соответствовать технико-эксплуатационным требованиям СУДС [1].

Береговые РЛС второго типа должны решать более широкий класс задач. Остановимся на этом типе БРЛС подробнее. Кроме обеспечения безопасности судоходства, они должны обеспечивать мониторинг воздушного и наземного пространства и решать задачи по обеспечению безопасности, вплоть до выдачи целеуказаний службам и средствам охраны. Для решения этих задач в современной помехо-целевой обстановке БРЛС данного типа должны иметь более совершенные параметры, чем БРЛС в СУДС. Специфика функционирования данных БРЛС выдвигает дополнительные требования:

- размещения их на высоких опорах, что обусловлено в первую очередь необходимостью решения задачи обнаружения малоразмерных надводных, наземных и низковысотных объектов на фоне интенсивных мешающих отражений от подстилающей поверхности;

- длительной работы в автоматическом режиме.

Потребность в создании нового поколения БРЛС этого типа продиктована тем, что значительная часть прибрежных зон нашей страны находятся в северных широтах и на Дальнем Востоке, где судоходство до настоящего времени развито не очень интенсивно и носит сезонный характер. Поэтому для этих районов весьма актуальны БРЛС, не только обеспечивающие охрану прибрежной зоны, но и осуществляющие функции управления движением судов.

Потребителями информации данных БРЛС могут быть как системы СУДС, так и пограничные службы, МЧС, газовики и нефтяники, работающие на шельфе. С учетом специфики районов базирования целесообразно БРЛС создавать в двух модификациях — стационарные и мобильные. Мобильные БРЛС потребуются при освоении новых территорий, организации временных портовых служб и обеспечении геологоразведочных работ на шельфе.

Появление малоразмерных высокоскоростных надводных целей, а также маловысотных и малоразмерных ДПЛА выдвинули новые требования к информативности и характеристикам обнаружения БРЛС. Один из очевидных путей обеспечения этих требований — повышение разрешающей способности БРЛС по дальности.

Наиболее информативной из современных стационарных береговых РЛС являются РЛС типа «Мыс» и ее модернизации — РЛС «Иртыш» (впрочем, станция только анонсирована на сайте завода-изготовителя, действующих станций авторам найти не удалось). Основное отличие этих РЛС от РЛС СУДС состоит в организации и способе обзора пространства. В большинстве современных СУДС применяются модернизированные корабельные навигационные РЛС, предназначенные для обнаружения сравнительно крупных надводных объектов, в условиях отсутствия преднамеренных помех. Они строятся по принципу постоянного кругового обзора пространства

сравнительно широким в угломестной плоскости антенным лучом. В БРЛС «Мыс» зона ответственности по углу места перекрывается двумя лучами для обзора используются два одновременно работающих приемо-передающих канала. Один обеспечивает обнаружение надводных и маловысотных объектов в ближней зоне, а второй — дальнейшее обнаружение объектов (основные параметры РЛС «Мыс» приведены в таблице). Подобное построение весьма удачно подходит для создания БРЛС контроля и охраны прибрежной зоны. На базе БРЛС «Мыс» созданы и в некоторых районах функционируют автоматизированные системы контроля и охраны прибрежной зоны. Однако находящиеся сейчас в эксплуатации БРЛС «Мыс» не отвечают современным требованиям, в первую очередь, по обнаружению малоразмерных надводных (резиновая лодка, пловец и т. д.) и маловысотных воздушных объектов (ДПЛА, КР) на фоне отражений от подстилающей поверхности. Кроме того приемо-передающие системы БРЛС «Мыс» построены на устаревшей элементной базе, что снижает их надежность и ресурс.

Сравнительные характеристики БРЛС

Параметр	«Мыс»	«Иртыш-3с»	Перспективная БРЛС
Скорость вращения антенны, об/мин	1, 6, 10	10	1—20
Ширина диаграммы направленности антенны, град: в горизонтальной плоскости в вертикальной плоскости	0,7—0,85 1,8—2,2	0,7—0,85 1,8—2,2	0,7—0,85 1,8—2,2
Длительность зондирующего импульса, мкс: канала 1 канала 2	1,2 0,12	0,2—0,6 0,05	0,1—50 0,02—40
Дальность обнаружения целей с эффективной поверхностью рассеивания 5 м ² при вероятности обнаружения 0,9, км: канал 1 канал 2	57 19	— 25	110 35
Разрешающая способность по дальности, не хуже: канал 1 канал 2	180 м (на шкале 1,5 мили) 22 м (на шкале 1,5 мили)	15 м (на шкале 0,5 и 1 мили)	3—4 м во всем диапазоне дальностей 3—4 м, во всем диапазоне дальностей

Параметр	«Мыс»	«Иртыш-3с»	БРЛС
Точность измерения координат, не хуже: по дальности	9 м на шкалах 0,75 и 1,5; 0,7 % на шкалах 3—6; 1 % на шкалах 12—192	10 м до 0,8 % шкалы	1—2 м во всем диапазоне дальностей
по азимуту	0,13°	0,5°	0,13°

Успехи в цифровой элементной базе, СВЧ микроэлектроники и вычислительной техники создали предпосылки к повышению информативности РЛС за счет развития и промышленного внедрения различных ветвей технологии сверхширокополосных сигналов (СШС). При применении зондирующего сигнала с внутриимпульсной модуляцией (типа ЛЧМ и ФКМ) наряду с увеличением базы ЗС до 5 000 появилась возможность сжимать сигнал до длительностей 5...10 нс. Однако наличие боковых лепестков у ЗС с внутриимпульсной модуляцией не обеспечивает отдельное обнаружение близко расположенных объектов с различными эффективными площадями рассеяния (ЭПР). Также не удастся обеспечить высокий коэффициент подавления мешающих отражений от подстилающей поверхности. Кроме того при ЗС с большой базой появляется значительная «мертвая зона». Для устранения этих недостатков предлагается использовать в комбинации с ними сверхкороткие радиоимпульсы (СКИРЛ).

В технологии СКИРЛ применяются ЗС длительностью 8...10 нс, которые обеспечивают существенное улучшение информационных возможностей РЛС по обнаружению целей на подстилающей поверхности и в сложной метеообстановке [2—4], за счет уменьшения обратного отражения ЗС от земной и водной поверхности, дождя и снега, что актуально для северных районов и районов Дальнего Востока.

Вариант применения различных типов ЗС в режиме обзора для нового поколения БРЛС с низковысотным и всевысотным угломерными каналами (НВК и ВВК) приведен на рис. 2.

Такое сочетание ЗС позволяет применять в режимах обнаружения ЗС только с однозначной дальностью, что значительно повышает темп обзора и обеспечивает обнаружение малоразмерных целей на фоне отражений от подстилающей поверхности при однократном радиолокационном контакте; при этом сохраняется широкополосность ЗС (и разрешающая способность БРЛС по дальности). Наряду с этим

такое сочетание сигналов позволяет повысить экологическую безопасность за счет управляемого и адаптивного снижения средней излучаемой мощности в канале НВК. Адаптация может осуществляться как в зависимости от сложности метеообстановки, так и от текущей фоно-целевой обстановки в азимутальном секторе зондирования.

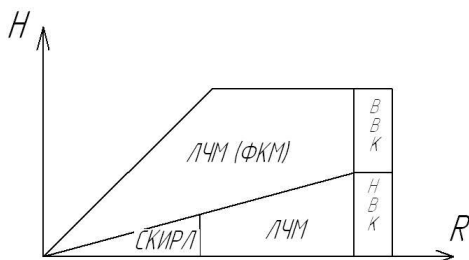


Рис 2. Области применения различных типов ЗС в НВК и ВВК

Для снижения стоимости разработки и сокращения сроков освоения серийного производства нового поколения БРЛС целесообразно по возможности использовать технические решения, имеющиеся в серийном производстве. Основные направления модернизации: расширение полосы частот приемо-передающих трактов (в 5—10 раз), использование различных типов широкополосных ЗС в единой циклограмме работы станции, введение режима определения третьей координаты (высоты) для воздушных целей.

Береговой радиолокатор следующего поколения целесообразно создать с зеркальной антенной системой с двумя приемо-передающими каналами: НВК и ВВК для обнаружения воздушных целей. НВК обеспечивает обнаружение и сопровождение надводных, наземных и низковысотных целей, в том числе малоразмерных и малоподвижных, на фоне мешающих отражений от подстилающей поверхности.

В низковысотном канале предлагается применить узкую симметричную по азимуту ДНА ($\sim 1^\circ$) в угломестной плоскости типа обратного cosec^2 с шириной (1,5...2°). Во втором канале (ВВК) ДНА по азимуту аналогична НВК, а по углу места симметрична, ее ширина составляет $\sim 6^\circ$. Для оценки высоты в данном канале применяется фазовый метод измерения угла, для чего используются два идентичных приемных канала. В нижней угломестной зоне (зоне пересечения каналов) для оценки угла места используется амплитудный метод.

Укрупненная структурная схема перспективной необслуживаемой береговой РЛС приведена на рис. 3.

В радиолокационных станциях имеются две самостоятельные широкополосные передающие системы и три приемных канала. Приемные каналы одинаковые по структуре и реализуются на унифици-

рованных аппаратных модулях. Для повышения надежности и ресурса, передающие системы строятся как многоканальные. Передатчик ВВК состоит из двух параллельных модулей, а НВК — из двух твердотельных модулей. Передающая система ВВК строится на основе твердотельно-вакуумного модуля с полным резервированием передающих подсистем, что позволяет одновременно увеличить импульсную мощность станции и значительно повысить ее надежность. Решение использовать твердотельно-вакуумные модули продиктовано экономическими соображениями, поскольку передатчик с выходной мощностью 3...5 кВт в полностью твердотельном исполнении в настоящее время стоит достаточно дорого.

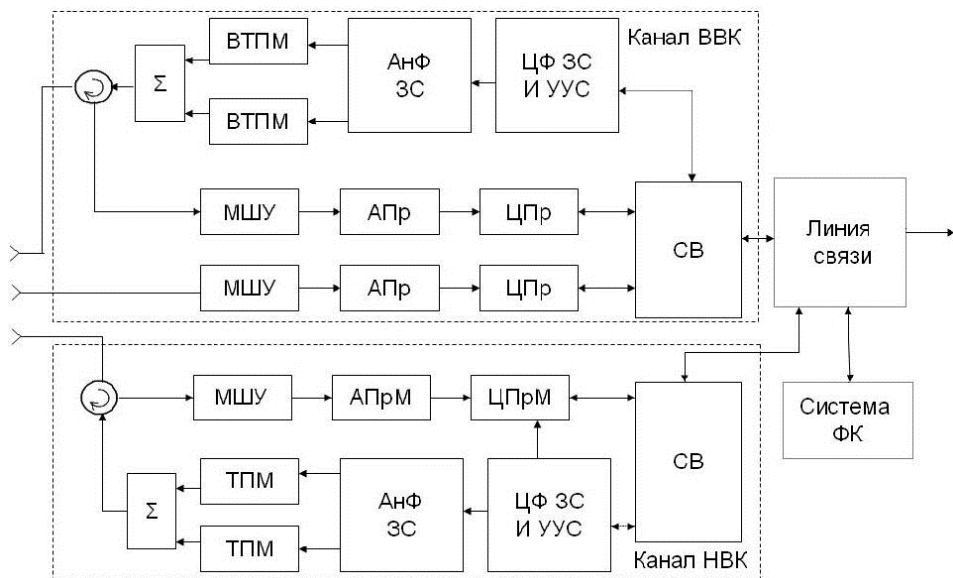


Рис. 3. Структурная схема перспективной необслуживаемой береговой РЛС:

МШУ — малозумящий СВЧ приемный усилитель; ТПМ — твердотельный передающий модуль; ВТПМ — вакуумно-твердотельный передающий модуль; АнФ — аналоговый формирователь ЗС; ЦФ ЗС — цифровой формирователь ЗС; УУС — устройство управления и синхронизации; СВ — спецвычислитель обработки информации; АПр — аналоговый приемник; ЦПрМ — цифровой приемный модуль

Для иллюстрации возможностей перспективной БРЛС по обнаружению малоразмерных целей с использованием технологии СКРЛ, приведем некоторые результаты, полученные в ходе обработки макетного образца РЛС. Они наглядно демонстрируют преимущества получаемых радиолокационных изображений (РЛИ) с использованием сверхкороткоимпульсного ЗС в НВК над существующими образцами РЛС. На рис. 4 представлено РЛИ и фото наблюдения надувной лодки вблизи береговой черты, а на рис. 5 — РЛИ и фотонаблюдения малоразмерного ДПЛА.



Рис. 4. РЛИ и фото наблюдения надувной лодки вблизи береговой черты

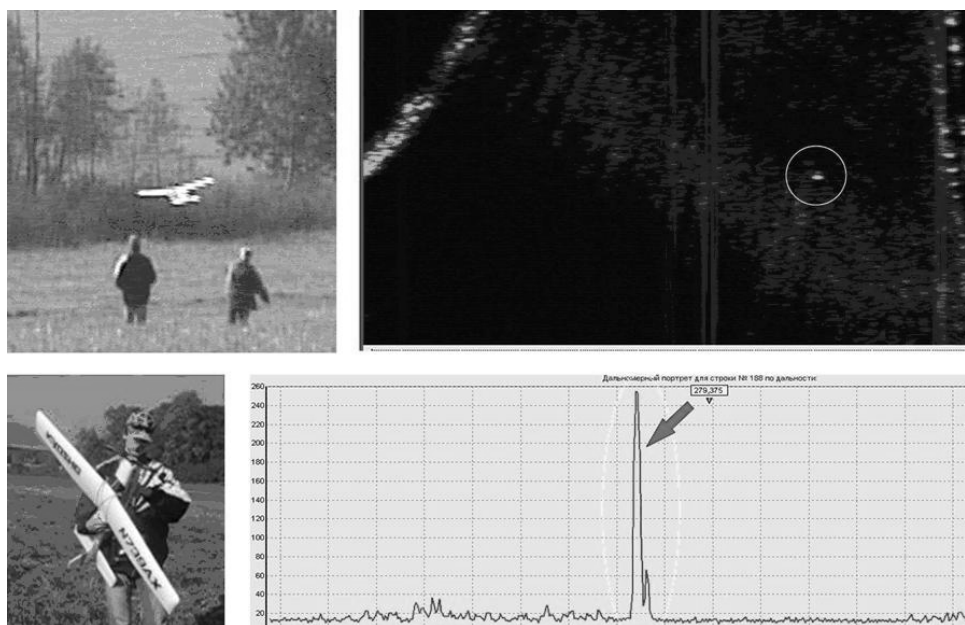


Рис. 5. РЛИ и фото наблюдения малоразмерного ДПЛА

Таким образом, обоснована концепция создания нового поколения береговых РЛС на базе новых отечественных технологий. Основными преимуществами предлагаемого варианта построения БРЛС нового поколения являются:

- определение третьей координаты (высоты) для воздушных целей;
- обнаружение малоразмерных объектов с величиной ЭПР $< 1 \text{ м}^2$ (такой ЭПР обладает человек, ДПЛА, резиновая лодка) на фоне интенсивных отражений от местных предметов, подстилающей земной и водной поверхности;

- высокая контрастность получаемого РЛИ, которая достигается за счет высокой разрешающей способности РЛС по дальности ($\Delta R \sim 1 \text{ м}$) и азимуту ($\Delta \theta_{\text{аз}} < 1^\circ$), и существенного (более, чем в 10 раз) снижения мощности мешающих отражений от подстилающей земной поверхности;

- возможность эффективной селекции и автоматического обнаружения медленно движущихся объектов (в том числе, людей) со скоростью порядка $0,5 \dots 5$ метров в секунду, по изменению координат положения объекта в двух соседних кадрах РЛИ *при произвольной ориентации траектории* движения объекта на местности;

- экологическая безопасность, которая достигается за счет адаптивного управления средней излучаемой мощностью, путем использования в единой циклограмме зондирования сверхкороткоимпульсных и высокоэнергетических широкополосных зондирующих сигналов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Системы управления движением судов. Техничко-эксплуатационные требования. № МФ 02-22/848–70. Введены в действие с 01 августа 2002.
2. Скосырев В. Н., Осипов М. Л. Особенности и свойства короткоимпульсной радиолокации // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение. – 1999. – № 4. – С. 21–31.
3. Скосырев В. Н., Созинов П. А. Технология сверхкороткоимпульсной локации в информационных радиолокационных системах // Тезисы докладов I научно-технической конференции. – М., 2003.
4. Скосырев В. Н., Нуждин В. М., Коновальцев А. В., Ананенков А. Е. Технология сверхкороткоимпульсной радиолокации. Состояние и тенденции развития // Вторая Всероссийская научная конференция-семинар «Сверхширокополосные сигналы в радиолокации, связи и акустике». – Муром, 4–7 июля 2006 г.

Статья поступила в редакцию 07.09.2012