

Е.А. БОНДАРЕНКО, В.П. ВОЛОБОЕВ, В.П. КЛИМЕНКО

СТЕЛС-ТЕХНОЛОГИИ В КОРАБЛЕСТРОЕНИИ И МЕТОДЫ ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СТАНЦИЙ БЕРЕГОВОГО (МОРСКОГО, ВОЗДУШНОГО) БАЗИРОВАНИЯ

Abstract: In article it is shown, that at the system approach to selection of parameters of hardware of a two-coordinate radar station of the circular review coastal (sea, air) basing and presence of methods of detection of the objects working with the small relation of a signal to noise, the problem a stealth-technologies will be removed. The algorithm of increasing of the attitude{relation} of a signal to noise is offered. It is shown, that radar station air basing (balloons, dirigible balloons) increase range of steady detection of objects and are base counteractions for perspective directions in a radar-location.

Key words: a stealth-technology in shipbuilding, radioabsorbing material, methods of counteraction, a radar station, coastal (sea, air) basing, range up to the radiohorizon, the reflected radar-tracking signal, the relation of a signal to noise.

Анотація: У статті показано, що при системному підході до підбору параметрів апаратних засобів двохкоординатної радіолокаційної станції (РЛС) кругового огляду берегового (морського, повітряного) базування й наявності методів виявлення об'єктів, що працюють при малому відношенні сигналу до шуму, проблема стелс-технологій буде знята. Запропоновано алгоритм підвищення відношення сигналу до шуму. Показано, що РЛС повітряного базування (аеростати, дирижаблі) збільшують дальність стійкого виявлення об'єктів і являються базовими для перспективних напрямків протидії в радіолокації.

Ключові слова: стелс-технологія в кораблебудуванні, радіопоглинання, методи протидії, радіолокаційна станція, берегового (морського, повітряного) базування, дальність до радіооб'єкту, відбитий радіолокаційний сигнал, відношення сигналу до шуму.

Аннотация: В статье показано, что при системном подходе к подбору параметров аппаратных средств двухкоординатной радиолокационной станции (РЛС) кругового обзора берегового (морского, воздушного) базирования и наличии методов обнаружения объектов, работающих при малом отношении сигнала к шуму, проблема стелс-технологий будет снята. Предложен алгоритм повышения отношения сигнала к шуму. Показано, что РЛС воздушного базирования (аэростаты, дирижабли) увеличивают дальность устойчивого обнаружения объектов и являются базовыми для перспективных направлений противодействия в радиолокации.

Ключевые слова: стелс-технология в кораблестроении, радиопоглощающий материал, методы противодействия, радиолокационная станция, береговое (морское, воздушное) базирование, дальность до радиогоризонта, отраженный радиолокационный сигнал, отношение сигнала к шуму.

1. Введение

Под стелс-технологиями теперь подразумевают комплекс технических решений, в результате которых уменьшается уровень сигналов, поступающих от объекта на приемные устройства системы обнаружения объектов. Уже установился термин малозаметность объекта. Создание малозаметных объектов является следствием научно-технического прорыва в дорогостоящих, наукоемких и высокоэффективных технологиях и относится к прерогативе исключительно экономически высокоразвитых государств, доктрины которых предполагают гарантированное военно-техническое превосходство над другими странами.

Как следует из литературы [1], в кораблестроении обозначились три направления применения средств малой заметности. Первое - это максимально возможное на сегодняшний день внедрение стелс-технологий на строящиеся и проектируемые корабли (французские "Лафайет" и ССХ21, шведский "Visby"). Второго направления придерживаются некоторые из ведущих военно-морских держав. Они, с полным на то основанием считают, что в ближайшие полтора-два десятилетия у них не будет сколько-нибудь серьезных соперников на море. Спешить некуда и, прежде чем внедрять новшества в полном объеме, лучше семь раз отмерить, а потом уже резать. Отдельные элементы стелс-технологий, зарекомендовавшие себя на "Sea shadow", применяются

при строительстве серии эсминцев типа "Орли Берк" и других кораблей ВМС США. Полноценный корабль-невидимку в состав американского флота планируется ввести в 2010 г. Им станет эсминец DD 21. О нем мало что известно в деталях, но, несомненно, в этом корабле найдут воплощение передовые стелс-технологии. Третье – использование отдельных элементов "невидимости", вызвано отсутствием достаточных финансовых средств у разработчиков и заказчиков. К последним относится проект корвета "Мираж" водоизмещением 1200 тонн разработки Исследовательско-проектного центра кораблестроения Украины [2]. Его архитектура во многом повторяет конструкцию западных кораблей-невидимок. Но отсутствуют противорадиолокационное покрытие и некоторые другие элементы полноценных стелс-технологий.

Следует упомянуть еще одно направление в использовании стелс-технологий, а именно, конструирование и изготовление морских малоразмерных средств малой заметности, которые могут быть использованы для нарушения морской границы и морской экономической зоны, а также браконьерами, террористами и при незаконном обороте наркотиков и оружия.

2. Постановка задачи

Принципы радиолокации в обозримом будущем будут основными в обнаружении объектов. Поэтому представляет интерес рассмотрение методов противодействия стелс-технологиям современных радиолокационных средств, т.е. определение путей адаптации существующего парка радиолокационных станций (РЛС) к ближайшему будущему.

Методы противодействия в радиолокации прежде всего будут вытекать из знания тех свойств распространения радиолокационных сигналов, которые лежат в основе стелс-технологий. Так как в настоящее время является актуальной разработка системы освещения надводной обстановки морского пограничного пространства и побережья, то в данной работе будут рассмотрены методы противодействия стелс-технологиям в кораблестроении применительно к двухкоординатной РЛС кругового обзора берегового (морского, воздушного) базирования.

3. Стелс-технологии в кораблестроении

Стелс-технологии включают в себя следующие основные направления: теорию дифракции на сложных телах, разработку и исследование радиопоглощающих материалов и покрытий. Стелс-технологии начинаются с математического моделирования рассеяния электромагнитной волны на объекте, радиолокационная заметность которого должна быть снижена. Этот шаг принципиален для предварительной оценки достижимого результата и позволяет оптимизировать форму и электрофизические характеристики объекта. Математические и расчетные модели базируются на решении граничных задач дифракции электромагнитных волн на телах сложной формы, имеющих в своем составе специальные материалы и покрытия. Возможности современной вычислительной техники позволяют создавать программное обеспечение для моделирования рассеяния электромагнитной волны даже на таких сложных объектах, как корабли, учитывая многообразие оборудования, щелей, лючков и многих других, казалось бы, незначительных деталей конструкции. В результате проделанной работы получают архитектуру корабля, имеющего формы, удовлетворяющие требованиям малозаметности. Достижение малозаметности корабля за счет

выбора архитектурной формы основано на том, что радиолокационный сигнал, подобно световым лучам, распространяется прямолинейно в соответствии с законами геометрической оптики. Это означает, что архитектурные формы корабля выбираются таким образом, чтобы предотвратить отражение сигнала в направлении приемной антенны радиолокационной станции за счет переотражения по другим. Следует заметить, что размеры отражающих поверхностей корабля должны быть значительно больше длины волны радиолокационного сигнала, так как только в этом случае сигнал отражается от поверхности по законам геометрической оптики. Уменьшение расстояния до радиогоризонта достигнуто за счет уменьшения высоты корабля над уровнем моря. Для усложнения радиолокационного наведения средств нападения на корабль рассеянный от всей поверхности корабля радиолокационный сигнал формируется таким образом, чтобы результирующий мгновенный эквивалентный центр, по возможности, был вынесен за его геометрические размеры. В данной работе будет рассматриваться только задача обнаружения малозаметных объектов.

Наиболее полно реализованы архитектурные средства радиолокационной защиты в шведском корвете "Visby" [3]. На рис. 1 приведен общий вид корвета [3].



Рис. 1. Корвет " Visby " – общий вид

Как видно из рис. 1, корвет " Visby " имеет узкий "граненый" корпус, низкие борта. Артиллерийская установка корвета – это трехгранная пирамидка, ствол убран и поднимается только во время стрельбы. Не видно ни одной пусковой установки на палубе. Нельзя определить даже, где находится ангар для вертолета.

Следует заметить, что при выборе архитектурной формы корабля учитывают не только законы распространения радиолокационного сигнала. Примером такого подхода является американский корабль "Sea shadow", имеющий борта, скошенные под углом 45 градусов, и более никаких надстроек на палубе. Кроме того, "Sea shadow" не имеет классической подводной части: два его борта опираются на узкие поплавки, а днище приподнято над водой. Помимо стелс-технологий, судно защищено специальным устройством, создающим вокруг него облако водяных брызг. Корабль, выполненный по такой архитектуре, оставляет при движении значительно меньший кильватерный след на воде, чем обычный, что затрудняет его обнаружение по следу и имеет вынесенный за его геометрические размеры результирующий мгновенный эквивалентный центр отраженного радиолокационного сигнала.

Важным фактором является материал, из которого изготавливается корпус корабля. К настоящему времени, решая фундаментальные задачи, связанные с прохождением электромагнитной волны через гетерогенные среды, исследователи научились создавать вещества с любым частотным поведением действительной и мнимой частей диэлектрической проницаемости, естественно, в определенном диапазоне частот и в соответствии с требованиями физической реализуемости. Создание веществ с произвольным законом поведения магнитной проницаемости в определенном диапазоне частот в настоящее время связано с некоторыми дополнительными ограничениями. При этом работы ведутся по созданию радиопоглощающих как материалов, так и покрытий.

Так, корпус корвета "Visby" сделан из компаундов – материалов на основе углепластиков. Углепластик сформирован из склеенных жгутов углеродного волокна. Каждый жгут толщиной около сантиметра состоит из 12–24 тыс. отдельных нитей. Углеродные материалы сами по себе являются "поглотителями" радиоволн, но у "Visby" нитки еще и закручены, что позволяет рассеивать радиолокационные сигналы.

Как следует из литературных данных [3], за счет использования архитектурной защиты корабля и радиопоглощающих материалов и покрытий достигнуто уменьшение эффективной отражающей поверхности корабля в 10 и более раз. Так как интенсивность принятого сигнала РЛС является функцией величины расстояния до объекта в четвертой степени [4], это приводит к уменьшению дальности обнаружения в 1,5 – 2 раза.

Таким образом, с точки зрения радиолокационных средств обнаружения, малозаметные объекты имеют следующие характерные особенности:

- существенно снижен уровень отраженного радиолокационного сигнала в направлении приемной антенны за счет радиопоглощения и переотражения в других направлениях, в результате чего уменьшено отношение полезного сигнала к шуму;

- переотражение радиолокационного сигнала от плоских поверхностей относительно больших размеров происходит с формированием узкой диаграммы направленности и наличием боковых лепестков;

- уменьшение расстояния до радиогоризонта за счет выбора соответствующих архитектурных форм корабля.

Отсюда вытекают следующие направления разработки методов противодействия в радиолокации. Первое направление связано с разработкой методов обнаружения объектов по прямому отраженному радиолокационному сигналу, поступающему на приемную антенну РЛС. Второе направление связано с увеличением расстояния до радиогоризонта устойчивого обнаружения объектов. Третье направление связано с организацией радиолокационной системы наблюдения таким образом, чтобы можно было использовать для обнаружения переотраженный от объекта радиолокационный сигнал.

4. Обнаружение объектов стелс-технологий по прямому отраженному сигналу

Основная задача радиолокации обнаружение объектов в зоне ответственности. При определении методов противодействия радиолокации на стелс-технологии, ослабляющие отраженный

радиолокационный сигнал, поступающий на приемную антенну, будем исходить из уравнения дальности радиолокации. Уравнение определяет мощность принятого отраженного сигнала P_r в зависимости от различных параметров радиолокационной системы:

$$P_r = \frac{P_f G_f}{4\pi R^2} \cdot \frac{\sigma}{4\pi R^2} \cdot A_r. \quad (1)$$

Правая часть уравнения записана таким образом, чтобы лучше отразить физическую сущность происходящих процессов. Первый множитель представляет собой мощность излучения зондирующего импульса на расстоянии R от РЛС с мощностью излучения P_f , где G_f – коэффициент усиления антенны. Числитель второго множителя – эффективная площадь рассеяния объекта σ , знаменатель учитывает распределение электромагнитной энергии в пространстве в зависимости от расстояния для отраженного сигнала, и он в точности совпадает со знаменателем первого множителя, который учитывает распределение энергии в пространстве для зондирующего импульса. Произведение первых двух множителей определяет плотность потока мощности отраженного сигнала у приемной антенны РЛС. Антенна с эффективной площадью апертуры A_r улавливает часть этой мощности, определяемую произведением всех трех множителей. В случае общей антенны для передачи и приема (одинаковых антенн) коэффициент усиления G_f и эффективная площадь апертуры A_r антенны связаны простым соотношением

$$G_f = \frac{4\pi A_r}{\lambda^2}, \quad (2)$$

где λ – длина волны, на которой происходит излучение зондирующего импульса.

Из уравнения (1.1) следует, что уменьшение эффективной площади рассеивания объекта можно скомпенсировать техническими средствами за счет:

- повышения энергии зондирующего импульса передатчика;
- увеличения чувствительности приемника;
- оптимального выбора конструкции антенны.

Так как уменьшение эффективной площади рассеивания объекта приводит к уменьшению отношения сигнала к шуму приемника или сигналу, отраженному от подстилающей поверхности, то эффективность обнаружения объектов зависит от интеллекта, заложенного в применяемых методах и алгоритмах обработки радиолокационной информации. Применение интеллекта в методах обнаружения малозаметных объектов требует отдельного рассмотрения. В данной работе ограничимся рассмотрением методов противодействия, основанных на применяемых аппаратных средствах.

Самый лобовой путь – повысить энергетику зондирующего сигнала РЛС за счет мощности импульса и времени его излучения. На этом пути в настоящее время имеются определенные элементные ограничения, которые, впрочем, со временем отодвинутся. Для повышения в десятки раз энергетики зондирующего сигнала РЛС за счет мощности импульса нет соответствующих технических средств. Как следует из формулы расчета разрешающей способности по дальности РЛС $\Delta R = ct_{зи}/2$, где $t_{зи}$ – длительность зондирующего импульса, c – скорость света, нет

возможности повысить энергетику до требуемого уровня за счет прямого увеличения времени излучения зондирующего импульса.

Реальный способ увеличения энергетики - излучение за период зондирования не одного, а нескольких импульсов, различаемых по кодовым признакам. Последнее, имея определенное число импульсов в пачке и не замедляя обзора, позволяет избавиться от неоднозначности определения дальности в принятом сигнале. В качестве примера можно привести патент [5], где предлагается построенная по когерентному принципу импульсная РЛС, содержащая приемопередающее устройство, использующее импульсные сигналы с внутриимпульсной фазовой манипуляцией.

Энергетику принятого сигнала можно увеличить за счет увеличения числа отраженных сигналов в пачке (времени накопления ансамбля отраженных сигналов). Прямая реализация этого подхода приведет к замедлению обзора контролируемой зоны и, следовательно, к необходимости использования большего числа станций. В связи с этим предлагается модификация данного подхода, которая не имеет указанного недостатка. Модификация рассматривается применительно к двухкоординатной РЛС кругового обзора берегового (морского, воздушного) базирования.

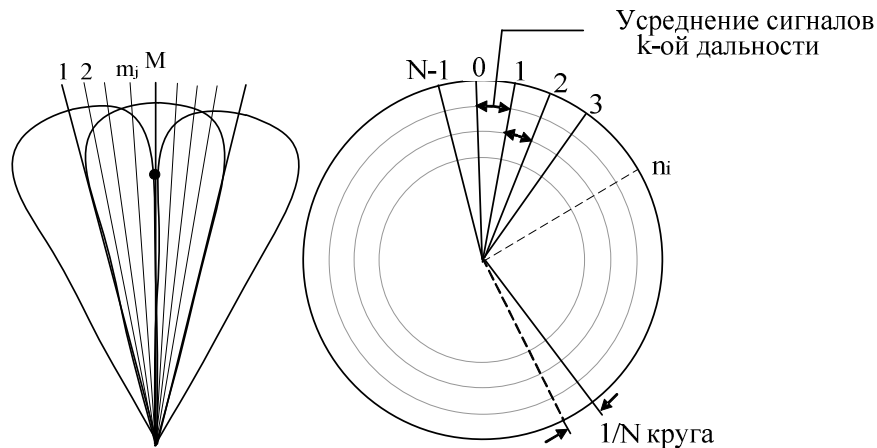


Рис. 2. Связь между диаграммой направленности антенны и разрешением РЛС по азимуту

Суть предлагаемой модификации заключается в следующем. Разрешение РЛС по азимуту определяется угловым размером ширины диаграммы направленности (рис. 2). Это означает, что в приемную антенну РЛС будет поступать отраженный сигнал от объекта для всех зондирующих импульсов, излучаемых РЛС при вращении антенны, в пределах угла ширины диаграммы направленности. Все расположенные на одинаковом расстоянии в пределах угла ширины диаграммы направленности объекты будут рассматриваться как один. При этом предполагается, что движущийся объект не выходит из области, ограниченной разрешающей способностью по углу и по дальности за время облучения зондирующими импульсами. Тогда в качестве размера пачки накопления отраженных импульсов можно взять то количество, которое приходится на половину диаграммы направленности антенны. В этом случае усредненное значение отраженного радиолокационного сигнала $A_{n_{ik}}$ на k дальности по n_i направлению при равномерном вращении антенны рассчитывается по формуле

$$A_{n_{ik}} = \frac{1}{M} \sum_{l=M_{n_i}}^{M(n_i+1)-1} a_{lk}, \quad n_i = 0, 1, \dots, N-1, \quad (3)$$

где M – количество импульсов в пачке, используемой для усреднения, a_{lk} – значение отраженного радиолокационного сигнала от k дальности в l направлении, N – количество усредненных зондирующих импульсов в круговом обзоре. Как следует из рис. 2, в качестве размера пачки можно брать количество отраженных импульсов, которое покрывает диаграмму направленности антенны, а количество усредненных зондирующих импульсов в круговом обзоре остается прежним.

В данном случае происходит не столько повышение энергетики отраженного сигнала, сколько увеличение отношения сигнала к шуму. Отраженный сигнал от объекта в зоне диаграммы направленности присутствует постоянно, а шум ведет себя статистически независимым образом для каждого зондирующего импульса. Кроме повышения энергетики, данный метод выполняет сжатие первичной радиолокационной информации без потери информативности, что особенно важно в связи с тем, что обработка радиолокационной информации должна выполняться в реальном масштабе времени.

Следует особо отметить тот факт, что после обнаружения объекта по усредненной радиолокационной информации кругового обзора направление на объект уточняется с точностью до углового направления зондирующего импульса по сохраненной первичной радиолокационной информации кругового обзора.

Данная модификация повышения энергетики отраженных импульсов была реализована в опытном образце береговой РЛС кругового обзора МР 244-2М [6]. В табл. 1 приведены результаты расчета количества импульсов в пачке, используемой для усреднения. Необходимые параметры для расчета приведены в [6].

Таблица 1. Результаты расчета количества импульсов в пачке, используемой для усреднения

№ п/п	Название параметра	Диапазон работы		
		1-й	2-й	3-й
1	Количество оборотов антенны, 1/мин.	20	20	20
2	Ширина диаграммы направленности, град.	1,6	1,6	1,6
3	Ширина пачки зондирующих импульсов, град.	0,96	0,96	0,96
4	Количество разбиений кругового обзора N	375	375	375
5	Дальность диапазона, миль	1	4	64
6	Частота зондирующих импульсов, гц	3000	1500	750
7	Количество зондирующих импульсов в круговом обзоре	9000	4500	2250
8	Количество зондирующих импульсов в пачке M	24	12	6

Как следует из приведенных результатов, эффективность предложенной модификации очень высокая на малой и средней дальности и удовлетворительная на большой.

Основная задача, стоящая перед разработчиками приемника, это увеличение чувствительности и снижение уровня шумов приемника. Это чисто технические задачи, и решение их зависит от успехов в высоких технологиях, в частности, от разработки малошумящих входных элементов приемника.

Как следует из основного уравнения радиолокации, мощность принятого отраженного сигнала P_r пропорциональна квадрату эффективной площади апертуры A_e приемной антенны РЛС, в то время как от остальных параметров, в том числе и от эффективной поверхности

рассеивания, она зависит линейно. Из этого следует, что за счет разработки или выбора конструкции антенны можно существенным образом компенсировать влияние уменьшения эффективной площади рассеивания объекта. Необходимо отметить, что только системный подход к выбору конструкции антенны, учитывающий увеличение энергетики отраженных импульсов и тем самым увеличение отношения сигнала к шуму за счет раскрытия диаграммы направленности антенны, будет эффективным.

На основании вышеприведенного можно сделать вывод, что при системном подходе к выбору (разработке) технических средств и наличии соответствующих методов и алгоритмов обработки радиолокационных сигналов, работающих при малом соотношении сигнал/шум, можно нейтрализовать действие стелс-технологий, приводящих к уменьшению уровня отраженного сигнала.

5. Увеличение расстояния до радиогоризонта

Расстояние до радиогоризонта зависит только от высоты установки антенны и высоты объекта обнаружения. Единственным ответом на уменьшение высоты объекта обнаружения есть поднятие антенны. Выбор высоты поднятия антенны или РЛС зависит от задач, выполняемых РЛС. Так, для непрерывного мониторинга морского экономического пространства шириной до 200 миль необходимо поднять антенну на высоту не менее 8 км [7]. Это возможно только в том случае, если антенна или РЛС будет размещена на борту летательного аппарата (ЛА). В последние годы во всем мире резко усилился интерес к использованию ЛА для решения задач государственной, общественной и экологической безопасности. Еще одним фактором, повлиявшим на рост интереса к этим вопросам, стали качественный скачок в развитии авиационной техники, удешевление самих ЛА. На новом витке своего развития вернулись в небо построенные из новейших материалов ЛА легче воздуха (дирижабли и аэростаты).

Как следует из литературы, практически все ведущие страны разрабатывают системы воздушного базирования. Так, корпорация Raytheon намеревается в 2009 году приступить к испытаниям системы обороны от крылатых ракет (в рамках проекта Joint Land Attack Cruise Missile Defense Elevated Netted Sensor System). Особенность этой системы заключается в том, что все радары будут размещены на дирижаблях. К 2011 году данная система будет готова к производству [8]. В НПО "РосАэроСистемы" [9] разработан ряд дирижаблей и аэростатов различного назначения. Из этого ряда следует выделить привязные аэростаты, которые разработаны как платформы-носители радиолокационных станций дальнего обнаружения. Как указано в проспекте, круглосуточное радиолокационное наблюдение может осуществляться на высоте до 3000 м в течение 30–35 дней без посадки аэростата, т.е. параметры аэростата удовлетворяют требованиям, вытекающим из специфики применения его в системе освещения надводной обстановки.

Применение РЛС воздушного базирования зависит от решения задач учета динамически сложных условий работы носителя в работе РЛС и наличия методов и алгоритмов обнаружения объектов на фоне отраженных сигналов от морской поверхности.

Следует заметить, что облучение объекта под углом к горизонтальной плоскости изменяет эффективную поверхность рассеивания, что может повысить эффективность обнаружения

малозаметных объектов. Кроме того, появляется возможность обнаружения объектов по следам взаимодействия их с водной средой. Наибольший интерес представляют следы, обладающие радиолокационной видимостью. За движущимся объектом РЛС может обнаружить расходящиеся волны. К числу других взаимодействий относится турбулизация поверхностных слоев жидкости, возбуждение в ней волновых процессов, изменение физико-химических свойств воды и другие. К сожалению, эти процессы мало изучены с точки зрения радиолокационной видимости, но не вызывает сомнения тот факт, что их необходимо использовать при обнаружении малозаметных объектов.

6. Обнаружение объектов стелс-технологий по переотраженному сигналу

Применение многопозиционной радиолокации в режиме кооперативной работы можно считать ответом радиолокации на переотражение зондирующего сигнала в другом направлении малозаметными объектами. Частным случаем многопозиционной радиолокации есть двухпозиционная (разнесенная) система активной локации с одним передатчиком (бистатическая система). Кооперативность приема отраженных сигналов состоит в использовании на различных позициях вторичного излучения объекта, зондируемого с какой-либо одной позиции. Следует отметить, что вопросы применения многопозиционной радиолокации, особенно в системах освещения надводной обстановки, являются актуальными, но к настоящему времени, как показал обзор литературы, это направление находится на уровне формирования задачи, в то время как возможности современных технологий позволяют реализовать многопозиционную радиолокацию. Возможно, что одной из причин такого состояния данного вопроса есть то, что подход к применению многопозиционной радиолокации в каждом конкретном случае должен быть индивидуальным.

7. Заключение

Решение современных задач системы мониторинга надводной обстановки территориальных вод и морской экономической зоны требует новых подходов к разработке и применению технических средств реализации такой системы, особенно с появлением морских средств, использующих стелс-технологии. В данной работе рассмотрены методы противодействия стелс-технологиям применительно к двухкоординатной РЛС кругового обзора берегового (морского) базирования. Показано, что только за счет системного подхода можно техническими средствами РЛС компенсировать уменьшение эффективной поверхности рассеивания объектов.

Учитывая, что следствием малозаметности объектов является уменьшение отношения сигнала к помехе, предложен метод, прошедший апробацию при опытной эксплуатации береговой РЛС кругового обзора, увеличивающий это отношение.

Показано, что увеличения дальности до радиогоризонта можно добиться, только применяя РЛС воздушного базирования. Отмечено, что организацию коллективной работы нескольких РЛС в общей зоне ответственности для обнаружения малозаметных объектов и обнаружение объектов по следам взаимодействия их с водной средой следует рассматривать в качестве перспективных направлений в методах противодействия радиолокации стелс-технологиям.

В заключение следует отметить, что при системном подходе к реализации всех рассмотренных технических средств РЛС противодействия стелс-технологиям и разработке методов и алгоритмов обнаружения объектов, работающих при малом отношении сигнала к шумам, проблема стелс-технологий для двухкоординатных РЛС берегового (морского, воздушного) базирования будет снята.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Призраки в океане. <http://nvo.ng.ru/armament/1999-10-15/ghosts.html>.
2. Многоцелевой корвет "МИРАЖ". <http://matagatos.narod.ru/mirazh.html>.
3. Visby Class corvette – the true stealth vessel www.kockums.se/SurfaceVessels/visby.html.
4. Справочник по радиолокации. Основы радиолокации / Под ред. М. Скольника: Пер. с англ. под общей ред. К.Н. Трофимова. – М.: Советское радио, 1976. – Т.1. – 455 с.
5. Антонов П.Б., Коржавин В.А., Никольцев В.А., Иванов В.П., Ицкович Ю.С., Левин М.З., Баландин В.С., Бронштейн Г.Т., Зобнин В.Я. Радиолокационная станция. Пат. Российской Федерации, RU 2131612 С1: 21.09.98.
6. Волобоев В.П., Клименко В.П., Лосев В.Д. Компьютерная система обработки сигналов, управления, отображения и контроля двухкоординатной радиолокационной станции кругового обзора // Математичні машини і системи. – 2005. – № 3. – С. 67–80.
7. Волобоев В.П., Клименко В.П., Лосев В.Д. Радиолокационная станция воздушного (морского) базирования, работающая в динамически сложных внешних условиях // Математичні машини і системи. – 2005. – № 4. – С. 131–142.
8. Американская противоракетная сеть из дирижаблей будет готова к 2011 году. <http://www.lenta.ru/mil/>.
9. НПО "РосАэроСистемы" на 3 международном форуме "Высокие технологии оборонного комплекса" представило проекты высокотехнологичных дирижабельных систем. <http://www.avias.com/news/2002/04/29/27378.html>.