

А.В. Косяковский¹, И.М. Мыщенко², А.Н. Роечко²

¹Центральный научно-исследовательский институт вооружения
и военной техники Вооруженных сил Украины
28, просп. Воздухофлотский, Киев, 03049, Украина
E-mail: a.kosiakovskiy @mil.gov.ua

²Институт радиофизики и электроники им. А.Я. Усикова НАН Украины
12, ул. Акад. Проскуры, Харьков, 61085, Украина
E-mail: igor.mytsenko@gmail.com

Комплексированная радиолокационная система для контроля надводной обстановки и судоходства

***Предмет и цель работы.** Основным фактором, который влияет на развитие современных морских радиолокационных систем (РЛС) и повышение их эффективности, является правильное обоснование концепции построения и выбора технических требований к разработкам новых устройств. Целью данной работы является анализ существующих методов построения морских РЛС, обобщение результатов многолетних прикладных радиофизических исследований в различных районах Мирового океана, а также в акватории Черного моря, и разработка на их основе концепции построения комплексированной РЛС для контроля надводной обстановки и судоходства, пригодной для практической реализации.*

***Методы и методология работы.** При разработке концепции построения и анализе параметров предлагаемой РЛС использовался метод математического моделирования.*

***Результаты работы.** В статье предложена концепция построения комплексированной радиолокационной системы для контроля надводной обстановки и судоходства, в состав которой входят 3-см и 8-мм РЛС с радиометрическим устройством. При выборе 3-см диапазона учтены результаты многолетних радиофизических исследований, проведенных ИРЭ им. А.Я. Усикова НАН Украины в районах Мирового океана и Черного моря. Применение 8-мм диапазона позволяет осуществлять ближнюю радиолокацию, где сигналы 3-см РЛС интерферируют и создают сильные отражения от морской поверхности. Необходимость использования радиометра 8-мм диапазона вызвана тем, что уменьшение эффективной площади рассеяния с применением радиопоглощающих материалов приводит к увеличению собственного радиояркостного излучения объектов. Поэтому для обнаружения малозаметных (с использованием технологии Stealth) и малоразмерных целей применяют радиометр, который позволяет увеличить контраст цели.*

***Заключение.** Сделаны выводы о практической значимости предложенной концепции построения комплексированной РЛС для контроля надводной обстановки и судоходства. Ил. 2. Табл. 1. Библиогр.: 5 назв.*

***Ключевые слова:** радиолокационная система, комплексированный метод, радиометр, радиотепловой контраст.*

Украина имеет значительную протяженность морской государственной границы на Черном и Азовском морях. Надежная охрана государственной границы, в том числе и морской, является одной из первостепенных задач. Успешное решение такой задачи существенно облегчается при наличии современных высокоэффективных интеллектуальных радиоэлектронных средств наблюдения и контроля. К таким радиоэлектронным средствам следует отнести и

морские радиолокационные системы (РЛС) нового поколения [1].

В настоящее время практически исчерпаны традиционные возможности улучшения параметров радиотехнических систем, включая РЛС. По этой причине в мировой практике стали применять комплексированные методы (совместную работу РЛС и других устройств) для улучшения возможностей и получения новых положительных качеств радиолокационных систем [2, 3].

В данной работе рассматривается концепция построения корабельной импульсной радиолокационной системы, в состав которой входят 3-см и 8-мм РЛС с радиометром, предназначенной для контроля надводной обстановки и судоходства. На рис. 1 показана упрощенная функциональная схема комплексированной РЛС.

Радиолокационная система состоит из двух РЛС ($f_1 = 9,4$ ГГц, $f_2 = 37,5$ ГГц), в которых используется одна и та же параболическая антенна с совмещенным облучателем. Радиометрическое устройство миллиметрового диапазона с помощью специальных узлов подключено к этой же антенне и работает со смещением частоты на $\Delta f \approx 2$ ГГц относительно частоты РЛС-2, что позволяет исключить влияние прямого и отраженного сигнала передатчика на радиометр.

Кроме того, в зависимости от задач, есть возможность в качестве радиометра использовать приемник РЛС-2 и временное разделение сигналов, что существенно упростит и удешевит радиолокационную систему. В некоторых случаях, когда в 3-см диапазоне из-за конструктивных соображений имеет смысл применять щелевую антенну, в миллиметровом диапазоне используется другая антенна – параболическая.

При оценке необходимости использования РЛС 3-см диапазона учитывались результаты экспериментальных радиофизических исследований распространения радиоволн при различных метеорологических условиях в ряде районов Мирового океана, полученные в ИРЭ им. А.Я. Усикова НАН Украины. Были определены важнейшие характеристики трасс распространения радиоволн – дистанционные зависимости множителя ослабления сигналов. Эти исследования показали, что во всех районах вероятность загоризонтного обнаружения в 3-см диапазоне выше, чем в 10-см диапазоне.

Ниже для сравнения приведены результаты экспериментальных исследований дальности обнаружения надводных объектов в двух диапазонах длин волн ($\lambda = 3$ см и $\lambda = 10$ см) при использовании РЛС «МРЛ-5» [4].

Как видно из таблицы, практически во всех галсах дальность обнаружения одних и тех же надводных объектов больше в 3-см диапазоне длин волн. Это связано с влиянием волновода испарения, высота которого недостаточна для

распространения радиоволн 10-см диапазона с малым затуханием. Кроме того, эффективная площадь рассеяния (ЭПР) надводных объектов и коэффициент усиления антенн при тех же размерах больше в 3-см диапазоне. Поэтому в состав рассматриваемой радиолокационной системы была включена РЛС 3-см диапазона [4].

Важнейшей проблемой корабельных РЛС является радиолокация движущихся целей, например, таких как крылатые ракеты, быстроходные катера с малой ЭПР на фоне отражений от морской поверхности, самолеты на фоне отражений от дождевых облаков и другие надводные объекты на фоне отражений от морской поверхности. Обнаружение таких объектов может быть осуществлено путем использования различий в скорости движения целей и создающих мешающий фон помех. В нашем случае это различие скорости обнаруживаемого объекта (возможно, неподвижного) и отражений от морского волнения, которое имеет другую скорость движения. По этим причинам возникает необходимость в построении когерентной РЛС, которая позволяет использовать эффект Доплера, что после селекции и обработки отраженных сигналов увеличивает контраст цели. Создать когерентную систему при использовании импульсного магнетрона в качестве передатчика затруднительно: фаза сигнала от импульса к импульсу имеет случайную величину. По этой причине в импульсной РЛС использу-

№ гал-са	Дальность обнаружения, км		№ гал-са	Дальность обнаружения, км	
	$\lambda = 3$ см	$\lambda = 10$ см		$\lambda = 3$ см	$\lambda = 10$ см
1	50	50	15	63	56
2	60	56	16	59	45
3	95	65	17	45	45
4	72	53	18	53	52
5	115	80	19	52	50
6	110	67	20	52	50
7	59	55	21	51	49
8	60	55	22	46	49
9	65	53	23	52	49
10	45	47	24	50	48
11	50	44	25	68	60
12	50	44	26	54	52
13	48	54	27	52	52
14	60	51			

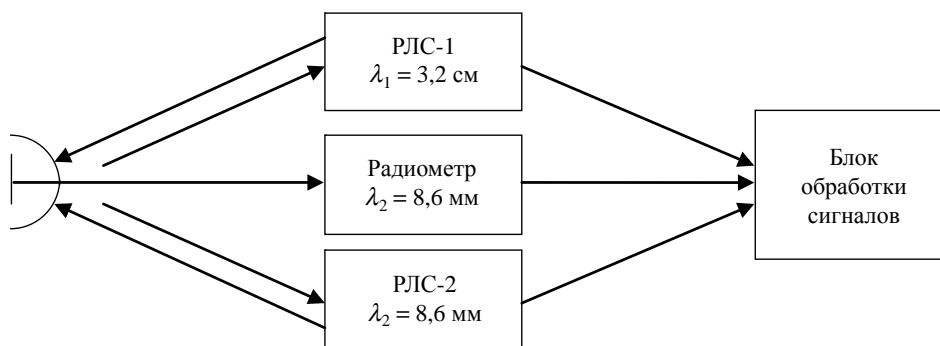


Рис. 1. Функциональная схема комплексированной радиолокационной системы

ется псевдокогерентная система, построение которой возможно различными известными методами.

В настоящее время для осуществления ближней радиолокации важную роль приобретают РЛС миллиметрового диапазона, которые совмещаются с другими РЛС, работающими в более длинноволновых (дециметровых и сантиметровых) диапазонах радиоволн [5]. Это связано с тем, что в этом диапазоне можно обеспечить высокую разрешающую способность как при обнаружении (распознавании) характера объектов, так и в наведении управляемого оружия. Кроме того, возникает возможность передачи практически неограниченных объемов

информации. Таким образом, РЛС 8-мм диапазона будет осуществлять ближнюю радиолокацию на расстояниях 2...5 км, где сигналы 3-см РЛС интерферируют и создают сильные отражения от морской поверхности. Применение РЛС миллиметрового диапазона позволит повысить вероятность обнаружения малоразмерных целей, например, лодки или катера в кильватерной струе судна и т. д.

Также достоинствами таких РЛС, в сравнении с более длинноволновыми, является их высокое разрешение по трем координатам (дальность, азимут и угол места) и более высокая помехозащищенность от активных помех, возможность осуществлять с более высокой точностью управление и наведение летательных и баллистических объектов.

Миллиметровый диапазон волн является оптимальным и для пассивной радиолокации. Как известно, преимуществом средств пассивной радиолокации, использующей радиотепловую контраст между целью и фоном, является скрытность и малая уязвимость, а недостатком – отсутствие прямого средства для определения дальности. На рис. 2 показаны экспериментальные радиояркие сечения надводного объекта на разных высотах над морской поверхностью [3].

Необходимость использования радиометра миллиметрового диапазона вызвана тем, что уменьшение ЭПР существующих радиопоглощающих материалов приводит к увеличению собственного теплового излучения объектов. Поэтому для обнаружения малозаметных (с использованием технологии *Stealth*) и малоразмерных целей применяют метод радиолокации, когда в состав РЛС обнаружения входит радиометр миллиметрового диапазона.

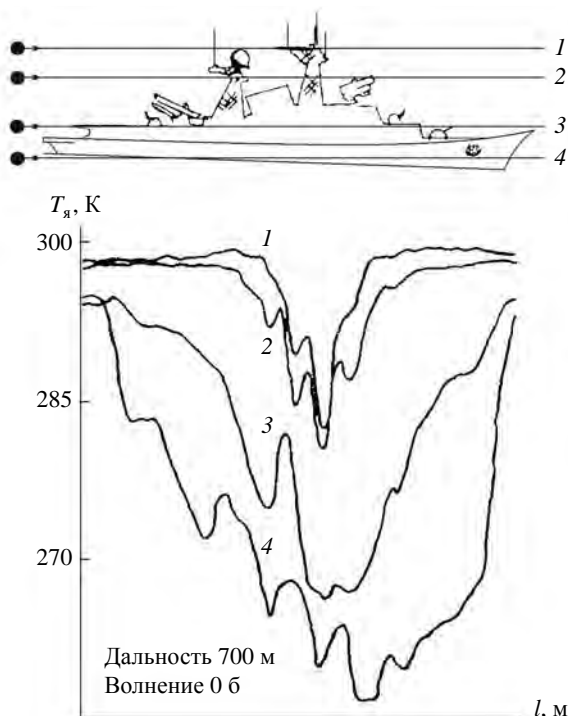


Рис. 2. Радиояркие сечения надводного объекта на разных высотах над морской поверхностью [3]

Такое комплексирование позволяет получить новые положительные качества радиолокационной системы. В зависимости от решаемых задач, возможны два варианта построения системы. В первом случае, когда есть необходимость в непрерывном просмотре отраженных сигналов, используется РЛС 8-мм диапазона с параллельно работающим радиометром. Во втором варианте можно использовать приемное устройство РЛС в пассивном режиме для обзора пространства (без излучения энергии), а в активном режиме измерять дальность до надводного объекта.

В нашем случае совместная работа РЛС и радиометрического устройства также дает возможность улучшить различимость надводных объектов на фоне отражений от морской поверхности. Так как участки суши, корабли и другие цели обладают значительным радиотепловым контрастом ($100...150^{\circ}\text{K}$), то обнаружение берега, островов, кораблей и других целей на фоне отражений от моря (которое имеет другую яркостную температуру) осуществимо на довольно больших дальностях. С помощью радиометрических устройств могут быть

обнаружены не только сами корабли, но и их кильватерные струи, температура которых на несколько градусов выше окружающей воды. Кроме того, кильватерную струю оставляют не только надводные суда, но и подлодки, оставляющие за собой термический след в погруженном положении. Это дает возможность обнаруживать подлодку в погруженном положении. Очень эффективен радиометр для ледовой разведки: когда РЛС «не видит» айсберг из-за плохого отражения сигналов, радиометрическое устройство его определяет. По этим причинам применение радиометрического устройства совместно с РЛС (комплексирование) дает возможность увеличить контраст целей и обнаруживать их на фоне отражений от морской поверхности.

Выводы. Таким образом, комплексированный метод радиолокации, при котором в состав радиолокационной системы входят РЛС 3-см и 8-мм диапазонов, а так же радиометр 8-мм диапазона, позволяет решать вопросы ближней радиолокации и контроля надводной обстановки и судоходства на расстояниях 1–2, а в случае свэрхрефракции 3–5 радиогоризонтов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дзюба В.П., Еремка В.Д., Зыков А.Ф., Милиневский Л.П., Мыценко И.М., Прокопенко О.И., Роенко А.Н., Роскошный Д.В. *Физические основы и радиоэлектронные средства контроля надводной обстановки и судоходства*. Под ред. В.М. Яковенко. Севастополь: Вебер, 2012. 196 с.
2. Быстров Р.П., Гуляев Ю.В., Черепенин В.А., Соколов А.В. Особенности развития радиолокационных систем. *Радиотехника*. 2010. № 9. С. 71–90.
3. *Вопросы перспективной радиолокации*. Коллективная монография. Под ред. А.В. Соколова. Москва: Радиотехника, 2003. 512 с.
4. Мыценко И.М. *Загоризонтное распространение УКВ над Мировым океаном*. Харьков: ФЛП Панов А.Н., 2016. 161 с.
5. Быстров Р.П. *Радиолокационные системы обнаружения наземных объектов в короткой части миллиметрового диапазона волн*. В 2-х т. М.: Технология. РА РАН. 2002. Т. 1. 216 с.

Стаття надійшла 18.03.2019

REFERENCES

1. Dzyuba, V.P., Eremka, V.D., Zykov, A.F., Milinevsky, L.P., Mytsenko, I.M., Prokopenko, O.I., Roenko, A.N., Roskoshny, D.V., 2012. *Physical principles and radio-electronic control devices of a surface situation and navigation*. Ed. V.M. Yakovenko. Sevastopol: Veber Publ. (in Russian).
2. Bystrov, R.P., Gulyaev, Yu.V., Cherepenin, V.A., Sokolov, A.V., 2010. Development Features of Radar Systems and Radar. *Radioengineering*, 9, pp. 71–90 (in Russian).
3. Sokolov, A.V. ed., 2003. *Advanced radar questions*. Moscow: Radiotekhnika Publ. (in Russian).
4. Mytsenko, I.M., 2016. *Over-the-horizon ultra-short waves propagation over the World Ocean*. Kharkov: FLP Panov A.N. Publ. (in Russian).
5. Bystrov, R.P., 2002. *Surface objects radar detecting systems in a short part of millimeter wave range*. Moscow: Technology. RA RAN. Vol. 1 (in Russian).

Received 18.03.2019

A.V. Kosiakovskiy¹, I.M. Mytsenko², A.N. Roenko²

¹Central Research and Development Institute of Arms
and Military Equipment of the Armed Forces of Ukraine
28, Povitroflotsky Ave, Kyiv, 03049, Ukraine

²O.Ya. Usikov IRE of NASU
12, Acad. Proskura St., Kharkiv, 61085, Ukraine

A COMPLEX RADAR SYSTEM FOR SURFACE SITUATION CONTROL AND NAVIGATION

Subject and Purpose. The main factor in the development of modern marine radar systems and improvement of their efficiency is a really justified construction concept and a proper selection of design specifications for building new devices. The purpose of this work is analysis of the existing methods of marine radar construction and generalization of the results of long-term radio physical explorations in different regions of the World Ocean and, in particular, the Black Sea towards the development of the concept of serviceable complex radar for surface situation control and navigation.

Methods and Methodology. In the development of the construction concept and analysis of suggested radar properties, the mathematical modeling method is used.

Results. A concept of complex radar system control of the overwater situation and navigation is proposed. The system combines 3-cm radar and 8-mm radar with a radiometer device. The 3-cm wave choice is due to the long-term radio physical studies conducted by O.Ya. Usikov IRE of NASU in different regions of the World Ocean and the Black Sea in particular. The usage of the 8-mm wave range allows the radar observations in the near-field zone where 3-cm radar signals interfere and form strong reflections from the sea surface. The employment of a 8-mm radiometer is due to the fact that the effective scattering cross section decreases in view of the radio absorbing materials employed, whereas the radio wave reradiation brightness of the object increases. For this reason, the usage is made of radiometers which improve the picture contrast of unobtrusive and small-size objects in accordance with the Stealth technology.

Conclusion. Conclusions have been made that the suggested construction concept of a complex radar system for the surface situation control and navigation has practical importance.

Key words: *radar, complex method, radiometer, radio thermal contrast.*

A.V. Косьяковський¹, І.М. Миценко², О.М. Роєнко²

¹ЦНДІ ОВТ ЗС України
28, просп. Повітрофлотський, Київ, 03049, Україна

²ІРЕ ім. О.Я. Усикова НАН України
12, вул. Акад. Проскури, Харків, 61085, Україна

КОМПЛЕКСИРОВАНА РАДІОЛОКАЦІЙНА СИСТЕМА ДЛЯ КОНТРОЛЮ НАДВОДНОЇ ОБСТАНОВКИ ТА СУДНОПЛАВСТВА

Предмет і мета роботи. Основним чинником, що впливає на розвиток сучасних морських радіолокаційних систем (РЛС) і підвищення їх ефективності, є правильне обґрунтування концепції побудови і вибору технічних вимог до розробок нових пристроїв. Метою даної роботи є аналіз існуючих методів побудови морських РЛС, узагальнення результатів багаторічних прикладних радіофізичних досліджень у різних районах Світового океану, а також в акваторії Чорного моря, і розробка на їх основі концепції побудови комплексированих РЛС для контролю надводної обстановки та судноплавства, придатної для практичної реалізації.

Методи і методологія роботи. При розробці концепції побудови та аналізі параметрів пропонованої РЛС було використано метод математичного моделювання.

Результати роботи. У статті наведено опис концепції побудови комплексированої радіолокаційної системи для контролю надводної обстановки та судноплавства, до складу якої входять 3-см та 8-мм РЛС з радіометричним пристроєм. При виборі 3-см діапазону враховано результати багаторічних радіофізичних досліджень, проведених ІРЕ ім. О.Я. Усикова НАН України в районах Світового океану та Чорного моря. Застосування 8-мм діапазону дозволяє здійснювати ближню радіолокацію, де сигнали 3-см РЛС інтерферують і створюють сильні відбиття від морської поверхні. Необхідність використання радіометра 8-мм діапазону викликано тим, що зменшення ефективної площі розсіяння (ЕПР) із застосуванням радіопоглинаючих матеріалів призводить до збільшення власного радіоскравісного випромінювання об'єктів. Тому для виявлення малопомітних (з використанням технології *Stealth*) і малорозмірних цілей застосовують радіометр, який дозволяє збільшити контраст цілі.

Висновок. Зроблено висновки про практичну значущість запропонованої концепції побудови комплексированої РЛС для контролю надводної обстановки та судноплавства.

Ключові слова: *радіолокаційна система, комплексирований метод, радіометр, радіотепловий контраст.*