

УДК 621.396.96

Метод конфигурации комплекса радиомониторинга при обнаружении воздушных объектов на основе экспериментальных исследований

Тимошенко А. В.^{1,*}, Ганиев А. Н.²,

Хазов П. Н.², Серебряков Ю. И.²,

Чеботарь И. В.²

[*u567ku78@gmail.com](mailto:u567ku78@gmail.com)

¹ОАО «Радиотехнический институт им. академика А.Л. Минца»,
Москва, Россия

²Череповецкое высшее военное инженерное училище
радиоэлектроники, Череповец, Россия

В материале представлен один из методов расширения возможностей комплексов радиомониторинга, реализованный в виде ряда процедур по формированию объектно-ориентированной структуры и выбору условий для размещения сконфигурированного комплекса на местности для решения задач обнаружения воздушных объектов в кооперации с источниками подсвета в режиме автономного и комплексного функционирования. Метод основан на экспериментальном исследовании, выполненном на физической модели, на которой отработаны вопросы размещения многопозиционной радиотехнической системы на местности и функционирования комплекса радиомониторинга при обнаружении воздушных объектов.

Ключевые слова: радиолокационная станция подсвета, комплекс радиомониторинга, объектно-ориентированная распределенная структура, размещение

Введение

В настоящее время одним из приоритетных подходов к решению задач обнаружения воздушных объектов с требуемыми полнотой и своевременностью является формирование разнотипных организационно-технических модулей (ОТМ) комплекса радиомониторинга (КРМ) в кооперации с радиолокационными станциями (РЛС) различного назначения, и рационального размещения этих модулей в районах выполнения задач. При большом пространственном размахе в различных физико-географических условиях реализация задачи поддержания мобильности и живучести организационно-технических систем в рамках традиционного подхода к применению современных средств радиомониторинга затруднительна.

Анализ существующих методов и методик обоснования структуры радиотехнических комплексов и их применения [1-3], в том числе в составе бистатических радиолокационных систем, показал, что существующий научно-методический аппарат, в основном, ориентирован на автономное применение КРМ и не учитывает необходимость конфигурирования структуры КРМ в сложной сигнально-помеховой обстановке и в различных физико-географических условиях для работы в многозадачных режимах контроля воздушного пространства, возможность кооперации КРМ с РЛС подсвета для обеспечения возможности построения бистатической радиолокационной системы для повышения результативности вскрытия воздушной обстановки за требуемое время.

В данной работе на основе экспериментальных исследований структурной компоновки и размещения приемопередающих средств КРМ предлагается метод конфигурации КРМ для функционирования с источниками подсвета, позволяющий повысить эффективность комплексов РМ по сравнению с существующими комплексами радиомониторинга.

Особенностью метода является возможность формирования (в случае необходимости) организационно-технической структуры КРМ в процессе планирования его размещения на местности на основе применения мобильных подвижных платформ.

Постановка задачи

Анализ условий функционирования и применения КРМ на основе реально решаемых задач контроля воздушного пространства показал необходимость расширения возможностей радиотехнических средств (РТС) по обнаружению воздушных объектов, применяющих специальные режимы функционирования, направленных на ограничение количества излучающих бортовых радиоэлектронных систем (РЭС).

В связи с расширением спектра решаемых задач и внедрением новых современных многофункциональных мобильных КРМ [4], требуется новый подход к организации их применения.

Целью работы является повышение эффективности выполнения задач контроля воздушного пространства за счет увеличения результативности комплекса радиомониторинга путем особой конфигурации комплекса радиомониторинга для выбора условий обнаружения воздушных объектов в кооперации с активными радиолокационными станциями [5].

Экспериментальные исследования на физической модели комплекса радиомониторинга

С целью реализации поставленной задачи, проверки и оценки степени адекватности предлагаемого метода по оценке возможностей базовых средств радиомониторинга по обнаружению малозаметных воздушных объектов (МВО), функционирующих в режиме радиомолчания и установления частотно-пространственных закономерностей вторичного излучения МВО в разнесенной приемопередающей системе была разработана и создана физическая модель КРМ.

На физической модели выполнен комплекс экспериментов по отработке вопросов оценки степени влияния структурной компоновки КРМ и условий его размещения на по-

зиции при обнаружении воздушных объектов со сниженной радиолокационной заметностью [5].

Экспериментальный измерительный комплекс, физическая модель и схема размещения её оборудования представлены на рисунке 1.

Экспериментальный измерительный комплекс и его модель состоит из: радиолокационных станции (РЛС), входящих в состав эталонного радиолокационного измерительного комплекса (ЭРИК), который используется в качестве совокупности источников сигналов, облучающих объект;

комплекта средств радиотехнического контроля (РТК) серийного производства, предназначенного для приема и анализа сигналов, отраженных от объектов;

физических модельей МВО типа беспилотных летательных аппаратов среднего класса в масштабе 1:4 с заранее известной диаграммой обратного отражения, как объектов облучения.

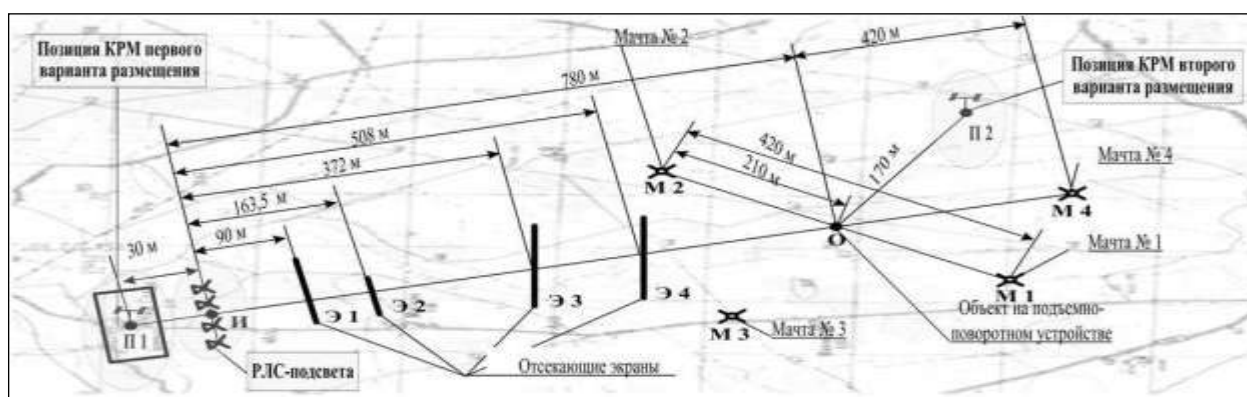


Рис. 1. План размещения физической модели экспериментального комплекса

В ходе эксперимента оценивалась работа четырех различных комплектов технических модулей КРМ, размещаемых относительно РЛС подсвета в нескольких географических районах.

Цель эксперимента достигалась методом сравнительного анализа спектрально-временных и амплитудных характеристик сигналов, принимаемых станцией РТК при наличии и в отсутствии исследуемых объектов в зоне их облучения радиолокационной станцией [4].

В ходе проведения экспериментов проверялась возможность приема станцией РТК сигналов, отраженных от МВО, при этом оценивалось влияние следующих факторов:

1. Расстояния между отражающими элементами, РЛС и приемной позиции.
2. Состава и характеристик радиоэлектронных средств, размещенных на приемной и передающей позициях, в том числе ширина и ориентация диаграммы направленности приемной позиции и РЛС, мощность излучаемого сигнала РЛС и чувствительность приемника станции РТК.

Эксперимент проводился для двух вариантов размещения аппаратуры приема по отношению к МВО и РЛС подсветки (рис. 1).

Анализ полученных результатов показал, что при геометрии системы, соответствующей варианту 1, когда приемная позиция станции РТК размещалась на радиооптической оси антенны комплекса ЭРИК с задней стороны антенн РЛС в соответствии с геометрией бистатической радиолокационной системы (БРЛС), степень наложения импульсов, отраженных от элементов И, Э1, Э2 и Э4, М3, М2 достигает не более 50% от длительности импульсов (рис. 2 а). Таким образом, энергетический потенциал станции РТК, являющейся частью БРЛС, обеспечивал возможность обнаружения МВО с низкой радиолокационной заметностью.

Геометрия системы, соответствующая варианту 2, когда приемная позиция станции РТК размещалась в стороне от оси диаграммы направленности для формирования БРЛС аппаратуры приема по отношению к объекту и РЛС подсветки, происходит наложение импульсов, переотраженных практически всеми элементами системы (рис. 2 б). Степень наложения достигает 95%, что существенно ограничивает возможность временной селекции импульсов, отраженных от объектов.

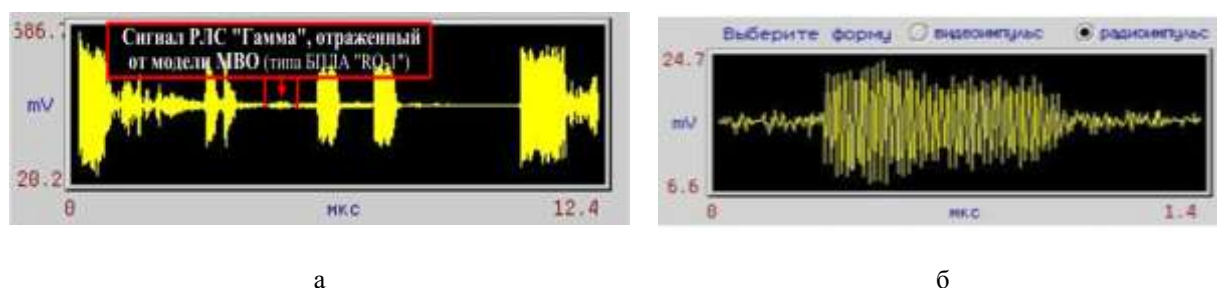


Рис. 2. Сигнал РЛС, отраженный от модели маловысотного воздушного объекта на экране КРМ при геометрии системы: а – вариант 1, б – вариант 2

Результаты эксперимента:

1. Характер размещения элементов радиолокационного полигона и модулей КРМ влияет на уровень и качество принимаемого сигнала, отраженного от МВО.
2. Рациональное размещение КРМ на местности (рис. 3.) с разнесенными в пространстве приемником и передатчиком повышает вероятность обнаружения радиотехническими средствами воздушных объектов с низкой радиолокационной заметностью.

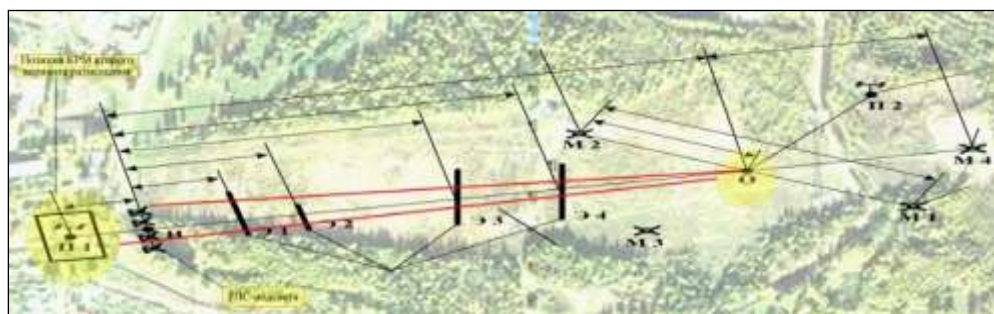


Рис. 3. Размещение элементов экспериментальной установки на радиолокационном полигоне

Размещение и работа КРМ основывается на принципах бистатической радиолокации (рис. 4), где γ - бистатический угол, r_B - база между РЛС и КРМ, r_1 и r_2 – расстояние от РЛС до МВО и от МВО до КРМ соответственно, d_{max} - максимальная дальность обнаружения вдоль базисной линии.

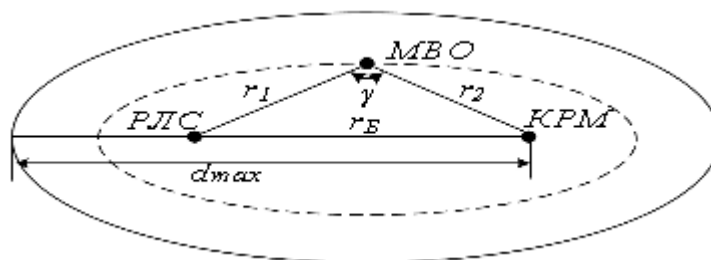


Рис. 4. Геометрия построения и зона обнаружения воздушного объекта бистатической радиолокационной системы

1. Энергетический потенциал средств радиотехнического мониторинга зависит и определяется конфигурацией размещения КРМ в пространстве. Рациональное размещение позволяет обеспечить обнаружение маловысотных воздушных объектов, имеющих низкую радиолокационную заметность и функционирующих в режиме радиомолчания (рис. 5).



Рис. 5. Зарегистрированный групповой сигнал станцией РТК в режиме детального анализа его временной структуры

2. Физическое моделирование функционирования КРМ позволило теоретически рассчитать потенциальную дальность обнаружения воздушных целей, определяемую как расстояние от МВО до позиции станции КРМ, которая составила от 18 до 25 км, в зависимости от ракурса объекта и длины волны при его облучении РЛС.

Таким образом, результаты эксперимента позволили сформировать требования и получить исходные данные и ограничения для разработки методики конфигурации КРМ для выбора условий обнаружения воздушных объектов.

Разработка и реализация метода конфигурации комплекса радиомониторинга при выполнении задач обнаружения воздушных объектов

Для решения задач обнаружения воздушных объектов необходимо сконфигурировать КРМ, оценить географический район и определить районы развертывания, в том чис-

ле в кооперации с РЛС в многопозиционной активно-пассивной радиолокационной системе [4].

Метод объектно-ориентированной конфигурации КРМ для решения задач мониторинга воздушного пространства в автономном и комплексном режимах эксплуатации с использованием элементов оптимизации представлена на рисунке 6 в виде блок-схемы алгоритма.

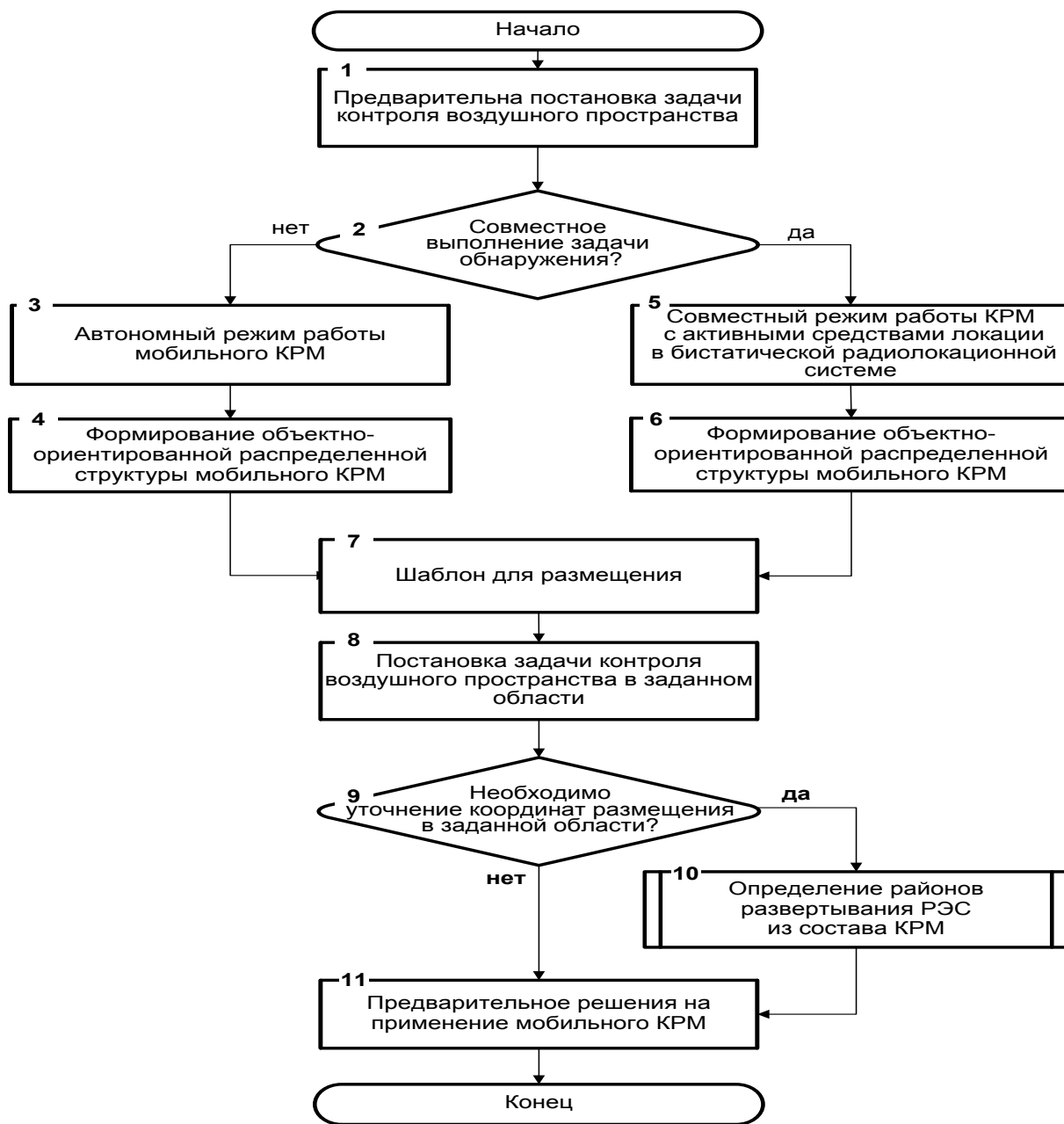


Рис. 6. Блок-схема алгоритма, реализующая метод конфигурации КРМ

На этапе 1 задаются параметры сигнально-помеховой обстановки и условия выполнения задач.

На этапе 2 принимается предварительное решение на применение КРМ в автономном (этап 3) или совместном режиме работы [4]) (этап 5).

На этапе 4 и 6 формируются варианты возможной структуры КРМ. На основе имеющегося состава РЭС КРМ моделируется каждый возможный вариант его структуры с учетом размеров района сбора информации. Критерий выбора рациональной структуры определяется поставленной задачей, а варианты построения структуры КРМ определяются оценкой приведения КРМ в готовность к выполнению задач мониторинга воздушного пространства и вероятностью вскрытия воздушной обстановки. Задача решается для каждого заданного района с учетом необходимости перенацеливания в любой момент времени. Тем самым определяется множество рациональных вариантов возможного построения конфигурации КРМ с учетом классификации всех РЭС по тактико-техническим характеристикам на группы (в соответствии с диапазоном рабочих частот РЭС и другими параметрами, характеризующие их аппаратную и электромагнитную доступность (ЭМД) [6].

Для каждой группы организационно-технических модулей КРМ определяется набор основных параметров (ЭМД, дальность, точность местоопределения и т.д.) подлежащих оптимизации при размещении КРМ на местности в заданных условиях.

На этапе 7 формируются шаблоны (типовые решения) для автономного или совместного режима применения КРМ.

На этапе 7 (если это необходимо) определяются районы развертывания РЭС из состава КРМ.

На этапе 9 формируются возможные варианты применения КРМ с учетом сконфигурированной структуры для выполнения конкретных задач в конкретных позиционных районах.

Методика определения районов возможного размещения модулей комплекса радиомониторинга

Для развертывания сконфигурированных модулей КРМ необходима достоверная априорная информация о районе размещения, которая позволит оценить возможности применения разнотипных РЭС и сократить время на определение районов развертывания КРМ на местности. Первоначально оценка местности проводится по физико-географическим условиям, зафиксированным на цифровой карте местности (ЦКМ), с последующим исключением зон заведомо непригодных для размещения по причинам физического, административного и эксплуатационно-технического характера. Оптимизация проводится методом динамического программирования с использованием аддитивного критерия качества [6]. Составляющими критерия являются математические, информационные и геометрические примитивы, характеризующие свойства зон для размещения РЭС.

Методика определения районов возможного размещения модулей КРМ представлена на рисунке 7.

На этапе 1 вводятся данные по географическому району (рис. 8 а), определяется инструментальное средство (комплекс) и задаются условия для минимизации географического района.

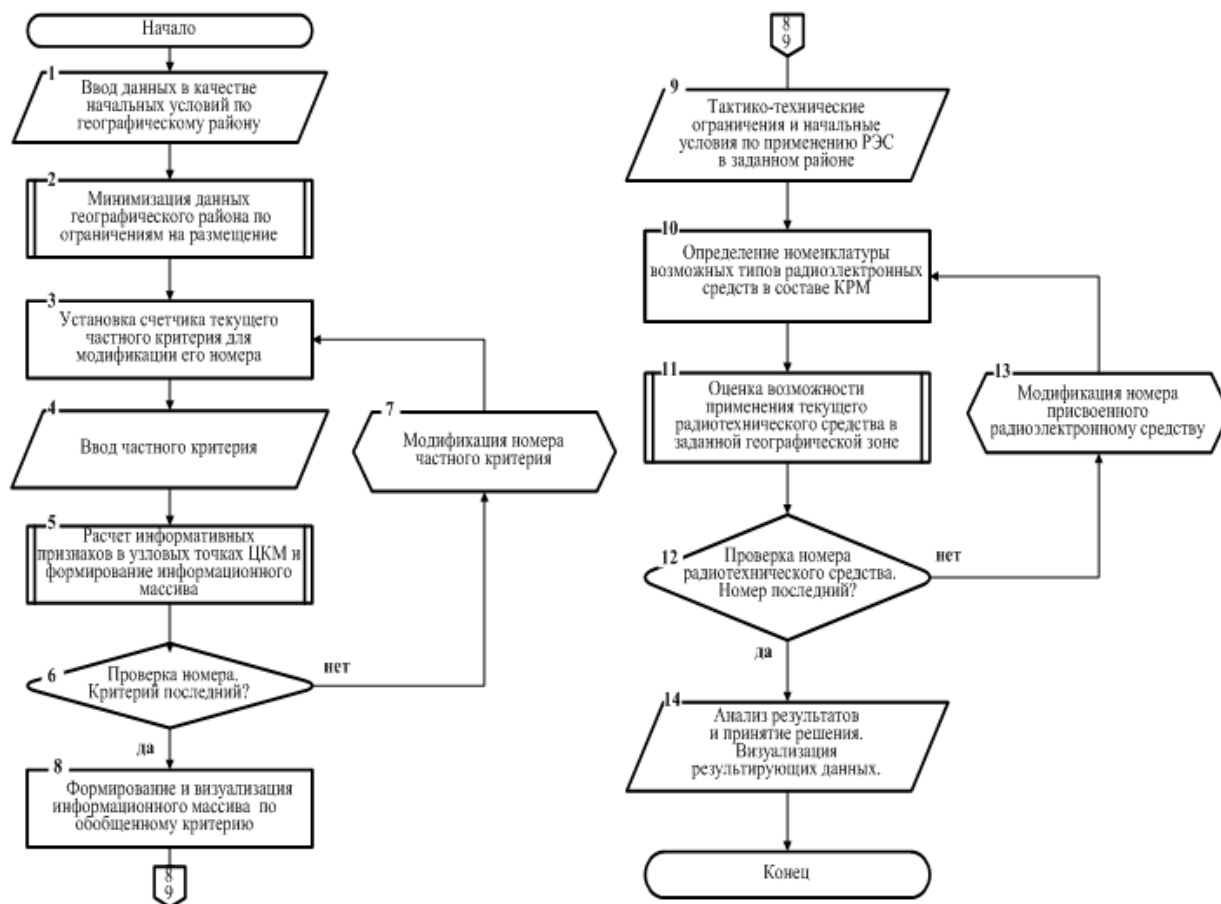


Рис. 7. Блок-схема алгоритма, реализующая методику определения районов размещения КРМ

На этапе 2 проводится минимизация данных географического района по возможности размещения (рис.8).

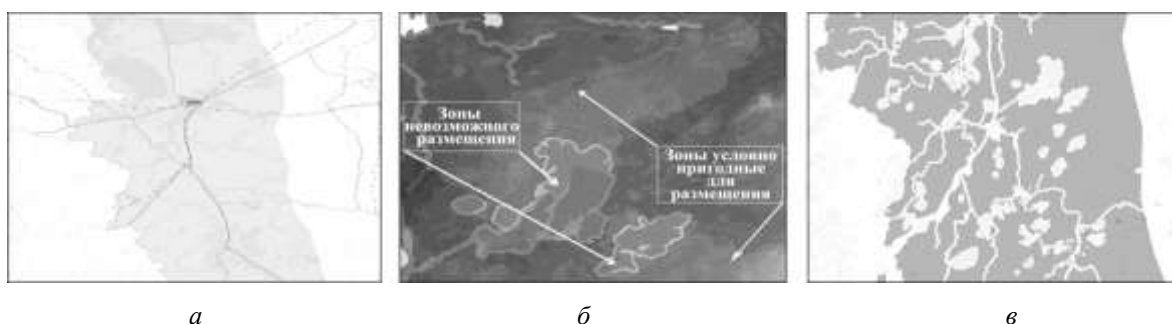


Рис. 8. Определение рабочих зон ЦКМ: а - заданный географический район; б - зоны непригодные для размещения; в - результирующая зона на ЦКМ

На этапе 3-8 формируется информационный массив по результатам оценки местности (рис.9).

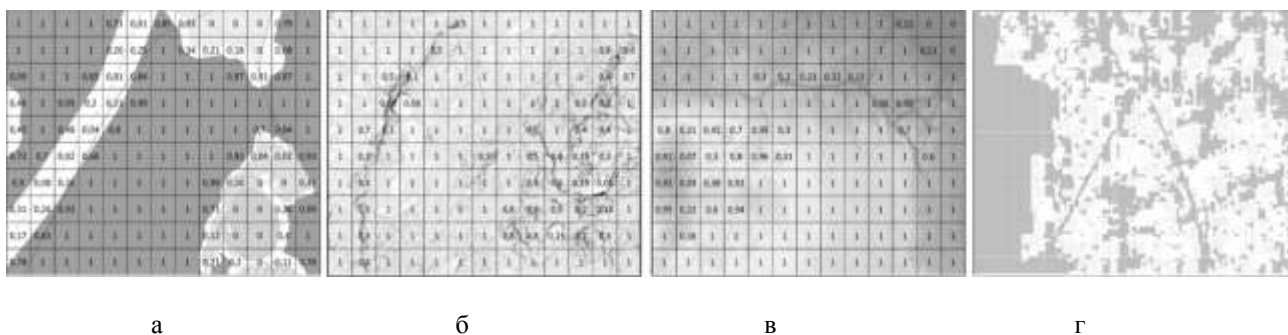


Рис. 9. Информационная оценка ЦКМ по возможности размещения на местности РТК: *а* - по влиянию растительного покрова; *б* - крутизны ската; *в* - высоте рельефа; *г* - обобщенная оценка

Результаты оценки районов местности возможного размещения КРМ в среде пакета MATLAB представлены на рисунке 10.

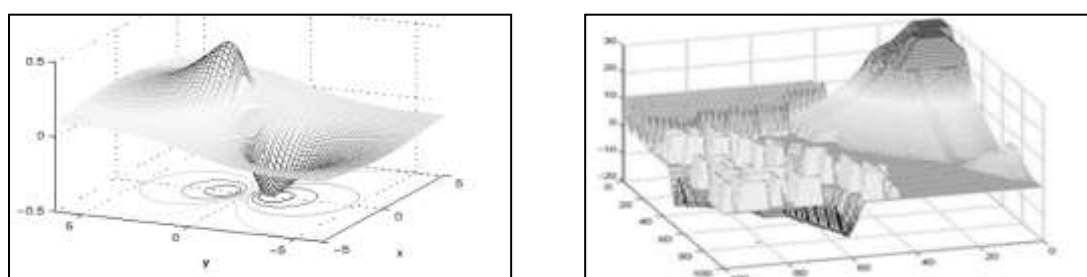


Рис. 10. Оценка района местности

Далее проводится анализ и формируется перечень РЭС КРМ, которые могут быть применены в районах возможного развертывания.

На этапе 9-14 вводятся критерии выбора номенклатуры РЭС КРМ для выполнения конкретных (объектно-ориентированных) задач обнаружения воздушных объектов и определяется количество РЭС. При этом оценивается возможность размещения и принимается решение на применения РЭС в заданной зоне по дальности, электромагнитной доступности и точности местоопределения и другим параметрам (рис. 11).

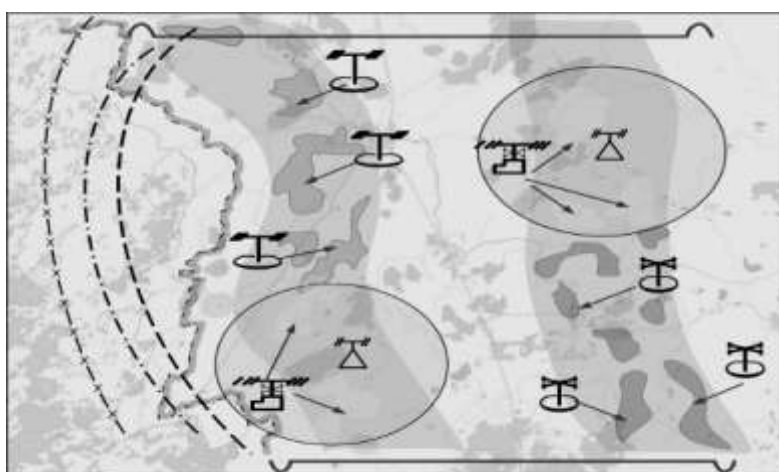


Рис. 11. Размещение КРМ в районах возможного развертывания

Заключение

В рамках решения задачи эффективного контроля воздушного пространства в условиях сложной сигнально-помеховой обстановки за счет совместного применения разнодиапазонных, многопозиционных радиоэлектронных систем разработан и опробован метод конфигурации комплекса радиомониторинга, позволяющий обосновать и получить множество организационно-технических модулей КРМ, рационально размещаемых в пространстве, для работы в многозадачных режимах контроля воздушной обстановки в кооперации с РЛС подсвета.

Метод позволяет на этапе рекогносцировочных мероприятий определить рациональную структуру и выбрать условия для размещения в пространстве разнотипных радиоэлектронных средств КРМ с целью решения задач автономного и кооперативного функционирования с источниками подсвета, что позволит повысить полноту вскрытия воздушной обстановки за счет возможности обнаружения воздушных объектов, имеющих низкую радиолокационную заметность и функционирующих в режиме радиомолчания.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ (№ НШ-6831.2016.8).

Список литературы

1. Черняк В.С. Многопозиционная радиолокация. М.: Радио и связь, 1993. 416 с.
2. Смирнов Ю.А. Радиотехническая разведка. М.: учебник для ВУЗов. Воениздат., 2001. 455 с.
3. Куприянов А.И., Петренко П.Б., Сычев М.П. Теоретические основы радиоэлектронной разведки. М.: Издательство МГТУ им. Баумана, 2010. 381 с.
4. Уткин В.В., Хазов П.Н., Коротков В.А., Ганиев А.Н., Родионов О.В. Экспериментальная оценка возможности обнаружения малоразмерных воздушных объектов бистатической радиолокационной системой // Антенны. 2014. № 11. С. 47-51.
5. Зайцев Д.В. Многопозиционные радиолокационные системы. Методы и алгоритмы обработки информации в условиях помех. М.: Радиотехника, 2007. 114 с.
6. Щербakov Г.Н., Шлыков Ю.А., Николаев А.В. Бистатическая радиолокационная система противовоздушной мины // Спецтехника и связь. 2008. № 3. С. 21-30.
7. Хазов П.Н., Чеботарь И.В. Структурно-параметрический синтез многопозиционной системы местоопределения воздушных объектов оперативно-тактической РТР с использованием вторичных излучений // Сборник материалов научно-практической конференции «Радиолокация-2030», секция № 1. Москва. ВА ГШ ВС РФ. 2012.
8. Ганиев А.Н., Хазов П.Н., Чеботарь И.В. Способ расширения возможностей системы информационного обеспечения подразделений ПВО в условиях радиолокационного конфликта за счет использования средств радиомониторинга // Сборник материалов XIV Всероссийской военно-научной конференции, секция № 6. Ярославль. Филиал Военно-космической академии им. А.Ф. Можайского. 2013.

9. Андронов С.И., Хазов П.Н., Чеботарь И.В. Методика организации и ведения радиотехнического наблюдения воздушных объектов в сложной сигнально-помеховой обстановке // Сборник материалов XXXX военно-научной конференции, секция № 7. Тверь. Военная академия ВКО им. Г.К. Жукова. 2011.
10. Ширман Я.Д., Лещенко В.М. Орленко С.П. О моделировании вторичного излучения воздушных целей и его использование в технике радиолокационного распознавания // Радиолокация и радиометрия. 2000. № 3. С. 65-75.

Experimentally studied Configuration Method of Radio-Monitoring Complex Upon Detection of Air Targets

A.V. Timoshenko^{1,*}, A.N. Ganiev², P.N. Khazov²,
Yu.I. Serebryakov², I.V. Chebotar²

[*u567ku78@gmail.com](mailto:u567ku78@gmail.com)

¹JSC "Radio Engineering Institute n.a. Academician A.L. Mints",
Moscow, Russia

²Cherepovets Higher Military Engineering School of Radio Electronics,
Cherepovets, Russia

Keywords: radio systems, efficiency, distributed object-oriented structure, methodology, application

The paper presents a method of extending radio monitoring complex features based on the results of an experimental study to define the impact of placement conditions and structural layout of a radio-monitoring complex. The effect expects that in the complex signal-jamming environment is estimated a possibility for cooperation means of radio engineering control complex of radio monitoring running in the passive mode with the radar illumination to extend capabilities upon detecting the air targets, using special operating modes to reduce electronic and radar visibility (transition to the mode "full" radio silence, the use of radio interference, etc.). The mode of operation is based on creating an active-passive spatially incoherent multiposition system consisting of a split site transmitting position of radar and a receiving position of radio monitoring complex for joint monitoring and processing of extracted information about air objects.

The experiment was conducted using a specially crafted, for this purpose, experimental complex, which included elements of the standard measuring complex radar and radio-engineering means of control. In the course of the experiments was tested a capability to receive radio engineering means of control signals reflected from the low-altitude air targets. The experiment objective was achieved by comparative analysis of the spectral-time and amplitude characteristics of signals received by the station of the radio engineering control with the objects available and unavailable in the zone of the radar beam. The paper shows a number of procedures to form an object-oriented structure of the rocker (multi-position) radio system and select the conditions for placing on the ground in cooperation with sources of illumination. It is concluded that the formation of a rational structure of the radio monitoring complex and determination of the conditions for placing on the ground will allow us to detect airborne targets with low radar signature and operating in radio silence mode. The paper suggests the method to make the configuration of radio monitoring complex and gives explanation of the results.

References

1. Chernyak V.S. *Mnogopozicionaya radiolokaciya* [Multipositional radiolocation]. Moscow, Radio i svyaz Publ., 1993. 416 p. (in Russian).
2. Smirnov U.A. *Radiotekhnicheskay razvedka* [Electronic reconnaissance]. Moscow, Voenizdat. Publ., 2001. 455 p. (in Russian).
3. Kupriyanov A.I., Petrenko P.B., Sichev M.P. *Teoreticheskie osnovy radioelektronnoi razvedki* [Theoretical foundations of radio-electronic reconnaissance]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 2010. 381 p. (in Russian).
4. Utkin V.V., Khazov P.N., Korotkov V.A., Ganiev A.N., Rodionov O.V. Experimental estimation of the detection possibility of small-size aerial objects by the bistatic radar system. *Antenny = Antennas*, 2014, no. 11, 47-51 pp. (in Russian).
5. Zaicev D.V. *Mnogopozicionie radiolokacionie sistemi. Metodi i algoritmi obrabotki informacii v usloviyah pomeh* [Multipositional radar systems. Data processing methods and algorithms under noise conditions]. Moscow, Radiotekhnika Publ., 2007. 114 p. (in Russian).
6. Sherbakov G.N., Shlikov U.A., Nikolaev A.V. Bistatic radar air defense system. *Spektelnika i svyaz = Specialized machinery and communication*, 2008, no. 3, pp. 21–30. (in Russian).
7. Khazov P.N., Chebotar I.V. [Structure-parametric synthesis of multipositional aerial object determining system for operational-tactical ESM using secondary emission]. *Sbornic materialov nauchno-prakticheskoi konferencii "Radilokaciya-2030", sektsiya #1* [Proc. research-to-practice conf. "Radilocation-2030", section #1]. Moscow, 2012. (in Russian).
8. Ganiev A.N., Khazov P.N., Chebotar I.V. [The way to increase capabilities of data support system for air defense unit under the conditions of radar conflict by using radiomonitoring devices]. *Sbornic materialov XIV Vserossiiskoi voeno-nauchnoi konferencii, sekciya # 6* [Proc. XIV Russian military sci. conf., section #6]. Yaroslavl, 2013. (in Russian).
9. Andronov S.I., Khazov P.N., Chebotar I.V. [Management methods for radiotechnical aerial objects surveillance in case of high signal-to-noise ratio]. *Sbornic materialov XXXX voenno-nauchnoi konferencii, sekciya #7* [Proc. XXXX military sci. conf., section #7]. Tver, 2011. (in Russian).
10. Shirman Y.D., Lezhenko V.M., Orlenko S.P. On modelling of air target secondary emission and its implement in radar determination technique. *Radiolokaciya i radiometriya*, 2000, no. 3, pp. 65-75. (in Russian).