

Анализ и синтез приемных структур мобильных комплексов скрытного радиотехнического мониторинга

С. Н. Разиньков, email: razinkovsergey@rambler.ru

О. Э. Разинькова, email: razinkova-olga@rambler.ru

А. В. Евсеев, email: alsealek@mail.ru

Ю. В. Сторожук, email: yu.storozhyk@yandex.ru

Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)

***Аннотация.** Выполнен обзор методов анализа и синтеза приемных структур, применяемых в мобильных комплексах скрытного радиотехнического мониторинга. Оценены возможности применения этих методов для обоснования технических путей построения комплексов мониторинга с требуемыми показателями эффективности выполнения целевых задач и защищенности при функционировании.*

***Ключевые слова:** Радиотехнический мониторинг, мобильный комплекс, приемная структура, функция пространственно-частотной избирательности приема, методы анализа и синтеза структур.*

Введение

Для скрытного мониторинга радиоэлектронной обстановки находят применение радиотехнические комплексы [1] на мобильных носителях, характеризующиеся низкими уровнями фоновой контрастности [2]. Суть мониторинга заключается в определении текущих характеристик [1, 3] и установлении изменений динамических состояний радиоэлектронных объектов по результатам приема и обработки их сигналов [1].

За счет мобильности комплексов может выполняться оперативный перенос усилий по добыванию данных и сосредоточению ресурсов в областях, для которых установлены более высокие приоритеты анализа [1, 3]. Малая фоновая контрастность комплексов позволяет оценивать функциональные и целевые свойства источников радиоизлучений при сохранении защищенности от систем дистанционного контроля (СДК), определяющей условия безопасности при деструктивных воздействиях [2, 3].

К числу основных вопросов создания мобильных комплексов для скрытного выполнения задач мониторинга следует отнести поиск путей построения приемных структур целевых нагрузок [4, 5].

Конструктивный облик приемных структур определяется на основе компромиссных технических решений при максимально полном совместном выполнении противоречивых требований к эффективности приема информационных сигналов [6] и степени проявления комплексов в информационных полях СДК [2, 5].

Эффективность приема сигналов характеризуется показателями пространственно-частотной избирательности и усиления в приемных трактах, определяющими технические условия реализации алгоритмов обработки данных и способов защиты от деструктивных воздействий. При этом прирост показателя усиления сигналов, как правило, приводит к возрастанию боковых лепестков функции пространственно-частотной избирательности приемной структуры [6, 7]. В результате формируются побочные каналы для поступления деструктивных воздействий, что, в свою очередь, ухудшает условия приема [6, 7] и практически исключает возможности построения оптимальных алгоритмов обработки сигналов [1]. Снижение боковых лепестков функций пространственно-частотной избирательности приема сигналов при контролируемой степени потерь усиления [6, 7] обуславливает возрастание плотности потока энергии вторичного электромагнитного излучения. В целом, можно сделать вывод, что прирост эффективности приема сигналов, количественной мерой которого является отношение сигнал-шум в каналах приемного устройства, создает предпосылки для снижения скрытности применения комплексов [2, 5].

Таким образом, поиск путей построения приемных структур для мобильных радиотехнических комплексов следует выполнять на основе последовательного решения двух групп взаимосвязанных задач:

первая группа – задачи электродинамического анализа приемных структур для установления взаимосвязей характеристик усиления, пространственно-частотной избирательности приема [6, 8] и вторичного излучения сигналов [2, 5] с параметрами конструкций;

вторая группа – задачи параметрического синтеза в интересах нахождения характеристик структур [5, 9], обеспечивающих требуемые показатели эффективности приема и вторичного излучения сигналов, на основе взаимосвязей, найденных по результатам анализа.

Задачи каждой группы решаются при установленной топологии приемной структуры и априори определенной несущей поверхности для размещения на мобильном объекте. Конструктивный облик и варианты размещения структур устанавливаются в соответствии с ограничениями на условия эксплуатации радиотехнического комплекса. В частности, целевые нагрузки комплексов воздушного базирования при размещении на корпусе (для объектов самолетного типа) или внешней подвеске (для

объектов вертолетного типа) не должны изменять аэродинамические свойства носителей сверх заданных пределов [7]. К носителям наземных мобильных комплексов предъявляются требования по сохранению устойчивости и управляемости при ведении мониторинга в движении и времени развертывания (свертывания) внешнего оборудования.

Цель работы – обоснование методов анализа и синтеза приемных структур для мобильных комплексов радиотехнического мониторинга с требуемыми показателями скрытности от СДК.

1. Задачи анализа приемных структур мобильных комплексов скрытного радиотехнического мониторинга

Анализ приемных структур мобильных комплексов мониторинга выполняется в интересах решения двух взаимодополняющих задач [7].

1. Исследование показателей избирательности приема, усиления и вторичного излучения сигналов компонентами целевых нагрузок и приемными структурами в целом.

2. Исследование эффективности приема и вторичного излучения сигналов структурами на несущих поверхностях мобильных носителей.

В мобильных радиотехнических комплексах широкое применение находят приемные структуры вибраторного типа, обладающие малыми массогабаритными характеристиками, и планарные структуры, формы которых не выступают за контуры носителя. В настоящее время анализ вибраторных конструкций выполняется на основе метода интегральных уравнений [4] с постановкой краевых задач для эквивалентных осевых токов при граничных условиях для касательных компонентов векторных сумм электрических полей приемных элементов [4, 6, 8]. Для анализа планарных структур эффективно используется метод наведенных токов [4, 7], позволяющий исследовать показатели пространственно-частотной избирательности приема сигналов с учетом искажений их амплитудно-фазовых распределений [8] за счет интерференции волн поверхностных токов несущих конструкций [7, 8]. При осевой симметрии поверхностей, определенных для размещения приемных структур, результирующее распределение токов находится путем суммирования бесконечных рядов Фурье с весовыми коэффициентами азимутальных гармоник. Значения этих коэффициентов представляют собой суммы последовательностей ортогональных (базисных) функций краевых задач [4, 8].

Вместе с тем, область применения известных методов ограничена следующими условиями.

1. Комплексная амплитуда принимаемого (рассеиваемого) сигнала устанавливается в приближении монохроматического процесса [4]; токи элементов приемной структуры и несущей конструкции представляются гармоническими колебаниями с циклическими частотами несущих [4,

8]. Данное ограничение адекватно отражает условия приема и рассеяния узкополосных сигналов, однако исключает возможности исследования характеристик усиления, пространственно-частотной избирательности приема и вторичного излучения широкополосных процессов [8].

2. В качестве несущих поверхностей выступают плоские (слабо искривленные) поверхности больших электрических размеров, которые, как правило, принадлежат квазиоптической области [8]. Выбранное приближение не позволяет проводить анализ приемных структур из резонансных и диапазонных элементов, возбуждаемых импульсными сигналами.

В целях развития методических основ анализа приемных структур для радиотехнических комплексов скрытного мониторинга обстановки предлагается разработать:

1. метод исследования компонентов структур в режиме приема (рассеяния) нестационарных волновых процессов при пространственно-временном представлении их текущих распределений. В отличие ранее известных методов, базирующихся на решении векторных краевых задач [4, 7, 8], представимых в виде рядов пространственных гармоник эквивалентных токов [4], он основан на нахождении пространственно-временного распределения поверхностных токов путем суммирования последовательностей ортогональных пространственных и временных базисных функций;
2. модели диапазонных (широкополосных) приемных структур. В отличие от ранее известных моделей, предназначенных для расчета характеристик резонансных (узкополосных) структур [7], возбуждаемых монохроматическими волновыми процессами, в моделях диапазонных (широкополосных) структур устанавливаются взаимосвязи [8, 10] между пространственно-временными распределениями поверхностных токов и облучающего поля в условиях нестационарного возбуждения [8]. Кроме того, в отличие от известных моделей, разработанных для исследования приемных структур в однородном изотропном бесконечно протяженном пространстве, комплексные амплитуды токов элементов находятся при граничных условиях для электрического поля в свободном пространстве [8, 10] с последующим умножением на дифракционные коэффициенты несущих экранов [10]. В результате устанавливаются функциональные взаимосвязи показателей усиления и характеристик пространственно-частотной избирательности приема сигналов [8, 10] с

электрическими размерами структур и несущих поверхностей. Они позволяют выявлять закономерности экранирования секторов рабочих углов при размещении целевых нагрузок мониторинга на малогабаритных носителях [8, 10].

2. Задачи синтеза приемных структур мобильных комплексов скрытного радиотехнического мониторинга

Синтез малоотражающих приемных структур [5, 7] для мобильных радиотехнических комплексов выполняется при заданной топологии в соответствии со следующими критериями [6, 9]:

1. критерий минимума среднеквадратического отклонения (СКО) функции пространственно-частотной избирательности приема сигналов от заданной формы;
2. критерий минимума СКО квадрата функции пространственно-частотной избирательности приема сигналов от требуемой формы.

При использовании первого критерия достигается наиболее точное и детальное восстановление [6, 9] функции пространственно-частотной избирательности приема сигналов с минимальными потерями усиления структуры. Однако ее коэффициент усиления убывает пропорционально ширине функции пространственно-частотной избирательности приема во второй степени. Этот фактор затрудняет одновременное получение высоких показателей усиления и пространственной селекции сигналов.

При использовании второго из представленных критериев имеет место линейная зависимость [6, 9] коэффициента усиления сигналов от ширины главного луча функции пространственно-частотной приема. При этом затруднено точное восстановление функции пространственно-частотной избирательности структуры, поскольку за счет минимизации СКО ее квадрата ограничения устанавливаются только для абсолютных значений токов, без учета распределения их фазовых набегов [9].

В работе представлен метод параметрического синтеза приемных структур с максимальным усилением и минимальным уровнем вторичного излучения сигналов контроле функций пространственно-частотной избирательности приема на множестве направлений.

За счет фиксации значений функции пространственно-частотной избирательности приема сигналов на множестве угловых положений при отсутствии требований к форме боковых лепестков [11] происходит к сокращению потерь усиления в приемной структуре. В результате последовательной коррекции распределения токов приемных элементов [5, 7, 9, 11] вследствие подавления локальных экстремумов функции пространственно-частотной избирательности структуры [10] происходит снижение среднего уровня боковых лепестков, как и при использовании

критерия синтеза, базирующегося на минимизации СКО функции от установленной формы [9]. Инвариантность положения главного луча функции, характеризующей избирательность приема сигналов, при подавлении локальных экстремумов позволяет, как показано в [5, 9, 11], достичь высоких показателей усиления в широком диапазоне частот.

Заключение

Разработаны модели и метод анализа приемных структур для мобильных комплексов скрытного радиотехнического мониторинга, позволяющие установить взаимосвязи параметров их конструкций с характеристиками приема и рассеяния сигналов. Предложены критерий и метод синтеза структуры с максимальным усилением и минимальным уровнем вторичного излучения сигналов при установлении ограничений на функции пространственно-частотной избирательности их приема.

Для достижения наилучших показателей избирательности приема при минимальных потерях усиления сигналов в приемной структуре целесообразно применять критерий, базирующийся на контроле соответствия формируемой и требуемой функций на дискретном наборе фиксированных направлений и частот. Определение компромиссных значений параметров конструкций приемных структур позволит найти технический облик мобильных радиотехнических комплексов с высокими показателями эффективности мониторинга радиоэлектронной обстановки и защищенности от СДК.

Литература

1. Радзиевский, В. Г. Теоретические основы радиоэлектронной разведки / В. Г. Радзиевский, А. А. Сирота. – М. : Радиотехника, 2004. – 432 с.
2. Ананьин, Э. В. Методы снижения радиолокационной заметности / Э. В. Ананьин, Р. П. Ваксман, Ю. М. Патраков // Зарубежная радиоэлектроника. – 1994. – № 4/5. – С. 5-21.
3. Меньшаков, Ю. К. Теоретические основы технических разведок / Ю. К. Меньшаков. – М. : МГТУ имени Н.Э. Баумана, 2008. – 536 с.
4. Неганов, В. А. Электродинамика и распространение радиоволн / В. А. Неганов, О. В. Осипов, С. Б. Раевский и др. ; под ред. В. А. Неганова и С. Б. Раевского. – М. : Радио и связь, 2005. – 648 с.
5. Разинькова, О. Э. Двухэтапный синтез антенной решетки с заданной диаграммой направленности и минимальной эффективной площадью рассеяния / О.Э. Разинькова // Воздушно-космические силы: теория и практика. – 2021. – № 18. – С. 108-119.

6. Неганов, В. А. Современная теория и практические применения антенн / В. А. Неганов, Д. П. Табаков, Г. П. Яровой ; под ред. В. А. Неганова. – М. : Радиотехника, 2009. – 720 с.

7. Резников, Г. Б. Антенны летательных аппаратов / Г. Б. Резников. – М. : Советское радио, 1967. – 416 с.

8. Разинькова, О. Э. Модели идеальных проводников с осевой симметрией во внешнем нестационарном электромагнитном поле / О. Э. Разинькова // Воздушно-космические силы: теория и практика. – 2021. – № 18. – С. 120-131.

9. Кашин, В. А. Методы фазового синтеза антенных решеток / В. А. Кашин // Зарубежная радиоэлектроника. Успехи современной радиоэлектроники. – 1997. – № 1. – С. 47-60.

10. Тимошенко, А. В. Современное состояние и задачи совершенствования методических основ построения антенных решеток беспилотных радиотехнических комплексов / А. В. Тимошенко, С. Н. Разиньков, О. Э. Разинькова и др. // Воздушно-космические силы: теория и практика. – 2020. – № 14. – С. 63-83.

11. Разиньков, С. Н. Синтез нулей диаграмм направленности резонансных и диапазонных антенных решеток с максимальными коэффициентами направленного действия / С. Н. Разиньков, А. В. Богословский, М. Ю. Лукин // Радиотехника. – 2017. – № 12. – С. 44-51.