

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ В АНТЕННАХ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ

Харченко В.В.¹, Герасимов Н.И.¹, Сухопаров П.Е.¹

¹Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г.Воронеж), 394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков 54а, e-mail: vahrostov@mail.ru

Использование различного рода покрытий в антенных системах в настоящее время позволяет не только защитить излучающий раскрыв, но и эффективно управлять характеристиками указанных систем. Меняя сочетание значений параметров покрытия, можно добиться улучшения как характеристик излучения, так и энергетических параметров антенной системы. В данной работе, на основе результатов проведенных авторами исследований, осуществлен анализ влияния параметров интеллектуального покрытия на диаграмму направленности цилиндрической антенной решетки щелевых излучателей. Показано, что при определенных значениях указанных параметров, удается добиться существенного снижения уровня бокового излучения как в азимутальной, так и в угломестной плоскостях. Проведена оценка эффективности применения антенны с покрытием в радиолокационном комплексе по сравнению с использованием аналогичной антенной системы без покрытия.

Ключевые слова: интеллектуальные покрытия, цилиндрическая антенная решетка, радиолокационный комплекс.

THE ANALYSIS OF EFFICIENCY OF INTELLECTUAL COATINGS IN ANTENNA RADAR SYSTEM

Kharchenko V.V.¹, Gerasimov N.I.¹, Suhoparov P.E.¹

¹ Military Educational Scientific Center of the Air Force, "Air Force Academy named after professor N.E. Zhukovsky and Y. Gagarin" (Voronezh), 394064, Voronezh, Old Bolsheviks St. 54a, e-mail: vahrostov@mail.ru

The use of various types of coatings in antenna systems is now not only protects the emitting aperture, but also effectively manage the performance of these systems. I combination of the parameters of the coating can be improved as the radiation characteristics and energy performance antenna system. In this paper, based on the results of the study authors, carried out the analysis of influence of parameters of intellectual of the coating on the pattern of the cylindrical array slot radiators. It is shown that for certain values of these parameters, it is possible to achieve significant reduction of the level of the side lobe in azimuth and in elevation planes. The efficacy of the coated antenna radar system compared with the use of a similar antenna system without a coating.

Keywords: intellectual cover, cylindrical array, radar system.

В настоящее время достаточно широкое применение получили интеллектуальные покрытия. Такие покрытия помимо выполнения функций защиты излучающего раскрыва от различного вида механических повреждений и негативного влияния окружающей среды, позволяют изменять характеристики излучения антенн за счет вариации параметров указанных покрытий.

Сравнительный анализ перечня требований к электрическим характеристикам антенн информационно-измерительных систем, структурно входящих в радиолокационные комплексы, и известных вариантов построения указанных антенн, позволяет сделать вывод о том, что существующие антенны не в полной мере отвечают сформулированным требованиям по ряду показателей, а именно:

- электрической перестройке формы диаграммы направленности (ДН), числу формируемых лепестков, положению максимума ДН при изменениях окружающей обстановки в реальном масштабе времени;

- возможности обеспечения функционирования антенны в режиме ППРЧ, скрытности работы;

- возможности формирования «нулей» ДН и ДН с низким уровнем боковых лепестков.

Наиболее полно совокупности требований по обеспечению заданного сектора сканирования, возможности быстрого углового перемещения главного максимума ДН, независимости характеристик излучения от направления сканирования удовлетворяет цилиндрическая антенная решетка (ЦАР). Для реализации всей совокупности зачастую противоречивых требований возможно дополнительное применение интеллектуальных покрытий.

Цель работы: анализ влияния параметров покрытия на диаграмму направленности цилиндрической антенной решетки, а также оценка эффективности применения таких антенн в информационно-измерительных системах радиолокационных комплексов.

Рассмотрим антенную конструкцию, представляющую собой, идеально проводящий цилиндр, с размещенной на его поверхности, системой магнитных излучателей, как показано на рисунке 1. Цилиндр покрыт специальным магнитодиэлектрическим покрытием.

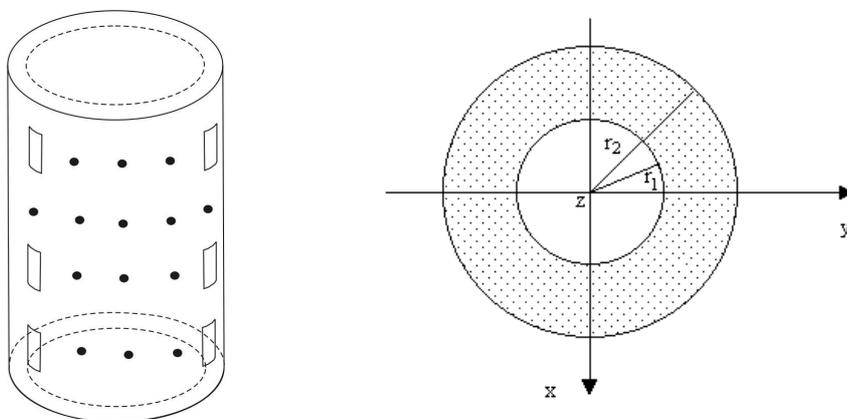


Рис.1 Цилиндрическая антенная решетка с покрытием

Относительные диэлектрическая и магнитная проницаемости магнитодиэлектрика имеют значения ϵ и μ . Радиус цилиндра равен r_1 , внешний радиус покрытия - r_2 .

В цилиндрической антенной решетке с магнитодиэлектрическим покрытием в качестве излучателей целесообразно использовать щели в виду простоты их выполнения с технологической точки зрения. Кроме того, при использовании щелевых излучателей, толщина покрытия может быть выбрана произвольной, в то время, как при использовании электриче-

ских вибраторов, на толщину покрытия будут накладываться ограничения, связанные с вопросами размещения излучателей в слое магнетодиэлектрика.

Результаты работ [2, 3, 4, 6, 7] позволили решить электродинамическую задачу о возбуждении цилиндра с покрытием системой магнитных излучателей, а также дают возможность проанализировать степень влияния параметров покрытия на диаграмму направленности такой антенны.

На рисунке 2 представлены результаты исследований в виде нормированных диаграмм направленности. На данном рисунке приведены нормированные диаграммы направленности цилиндрических антенных решеток щелевых излучателей, состоящих из трех колец, по двадцать пять излучателей в каждом, размещенных в кольце с шагом 0.6λ и шагом между кольцами 0.6λ . Сплошными кривыми изображены диаграммы направленности цилиндрической АР без покрытия, а штриховыми линиями – диаграммы направленности ЦАР с магнетодиэлектрическим покрытием с параметрами $\varepsilon = 3$, $\mu = 2.1$, при равномерном амплитудно-фазовом распределении.

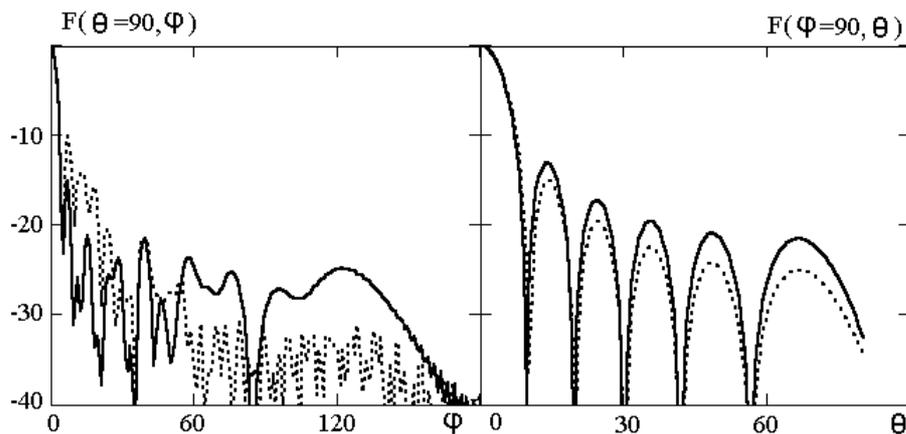


Рис. 2 Диаграммы направленности антенных решеток

На рисунке показаны диаграммы направленности цилиндрической антенной решетки радиуса 10λ с магнетодиэлектрическим покрытием, толщина которого составляет 0.55λ .

Проведенные исследования показали, что использование магнетодиэлектрического покрытия с определенными параметрами позволяет значительно изменять характеристики излучения ЦАР как в лучшую, так и в худшую стороны [3, 4]. Проведенный анализ показывает, что при использовании магнетодиэлектрических покрытий в ЦАР щелевых излучателей при определенных параметрах данных покрытий, можно добиться снижения уровня бокового и заднего излучения таких антенн в диапазоне углов $30\dots 180$ градусов в азимутальной плоскости, и в диапазоне углов $0\dots 90$ градусов в угломестной плоскости по отношению к аналогичным ЦАР без покрытия.

Основной целью применения магнетодиэлектрического покрытия является значительное снижение уровня боковых лепестков диаграммы направленности при незначитель-

ном увеличении или сохранении ее ширины, что позволяет повысить помехозащищенность и помехоустойчивость антенной системы.

Для оценки эффективности применения защитных покрытий необходимо ввести показатель, который связывал бы основные параметры радиолокационной станции (РЛС) и помехозащищенность антенн данной РЛС.

Эффективность РЛК связана с точностью определения координат цели. Таким промежуточным показателем может служить энергетическое отношение сигнал/(помеха+шум)

$q^2 = \frac{2E_c}{N_n}$, где E_c - энергия принимаемого сигнала, N_n - спектральная плотность мощности шумов и помех [1, 5].

шумов и помех [1, 5].

Выбор такого показателя физически оправдан, т.к. отношение сигнал/(помеха+шум) зависит от всех основных параметров РЛК обнаружения целей, в первую очередь от помехозащищенности используемых антенн, внешней среды и целей. С другой стороны от ОСПШ непосредственно зависят точностные характеристики РЛС.

Так среднее квадратическое значение потенциальной погрешности измерения задержки

немодулированного по частоте радиоимпульса $v(t) = \exp\left(-\frac{\pi^2}{\tau_c^2}\right)$ равно [5]

$$\sigma_\tau = \frac{\tau_c}{q\sqrt{\pi}}, \quad (1)$$

где τ_c - длительность импульса.

Соответственно среднее квадратическое значение потенциальной погрешности измерения расстояния до цели составляет

$$\sigma_{lR} = \frac{c\tau_c}{q\sqrt{\pi}}, \quad (2)$$

где c – скорость распространения электромагнитных волн.

Среднее квадратическое значение потенциальной точности измерения угловых координат имеет вид [5]

$$\sigma_{l\theta} = \frac{1}{q\ell_{\text{эф}}^\theta}, \quad (3)$$

$$\sigma_{l\varphi} = \frac{1}{q\ell_{\text{эф}}^\varphi}, \quad (4)$$

где $\ell_{\text{эф}}^\theta$, $\ell_{\text{эф}}^\varphi$ - эффективный размер антенного раскрытия.

Таким образом, энергетическое отношение сигнал-помеха является таким обобщенным параметром, который может быть использован при проектировании РЛК, с повышением которого эффективность применяемых комплексов прикрытия будет расти.

Из графиков, приведенных на рисунке 2 видно, что использование магнитоэлектрического покрытия определенной толщины с параметрами $\varepsilon = 3$, $\mu = 2.1$, позволяет снизить уровень бокового излучения при неизменной ширине диаграммы направленности ЦАР в диапазоне углов 30...180 градусов, что в свою очередь позволяет повысить ОСПШ на выходе ЦАР с покрытием по отношению к ЦАР без магнитоэлектрического покрытия в два раза. Следовательно, применение магнитоэлектрического покрытия в соответствии с выражением (5) позволяет снизить значения ошибки определения координат цели в два раза.

$$\sigma_{\ell}^2 = \sigma_{\ell R}^2 + (\sigma_{\ell\theta}^2 + \sigma_{\ell\varphi}^2)R^2, \quad (5)$$

где σ_{ℓ}^2 - точность определения координат цели; R , θ , φ - расстояние до цели и углы места и азимута, определяющие положение цели в системе координат, связанной с РЛС; $\sigma_{\ell R}^2$, $\sigma_{\ell\theta}^2$ и $\sigma_{\ell\varphi}^2$ - дисперсии ошибок измерения соответствующих координат.

Так, для существующих радиолокационных комплексов, использование цилиндрической антенной решетки без покрытия с числом колец, равным двенадцати и двадцати пятью излучателями, размещенных в каждом кольце с шагом 0.6λ , со спадающим амплитудно-фазовым распределением, с заданными мощностью излучения и характеристиками направленности [1], позволяет получить значение σ_{ℓ}^2 , равное 15 метрам. В тоже время, при использовании в той же РЛС аналогичной антенной решеткой с магнитоэлектрическим покрытием, параметры которого приводились выше, реализующую ту же ширину диаграммы направленности при равномерном амплитудно-фазовом распределении, позволяет повысить ОСПШ на выходе антенны в 1.5...3 раза в зависимости от направления в секторе углов от 30 до 180 градусов по углу азимута. И, следовательно, дает возможность снизить значение σ_{ℓ}^2 до 7...8 метров.

Таким образом, результаты проведенного анализа показали, что применение в информационно-измерительных системах РЛК антенных решеток с интеллектуальными покрытиями (с определенными параметрами), позволяет повысить эффективность функционирования комплекса прикрытия объектов в целом, по сравнению со случаем использования антенных систем без покрытий.

Выводы

Научно обоснованный выбор параметров магнитоэлектрического покрытия позволяет снизить уровень боковых лепестков, что в условиях сложной помеховой обстановки приводит к повышению помехоустойчивости антенной системы. При этом уровень бокового и заднего излучения цилиндрической антенной решетки с магнитоэлектрическим покрытием в секторе углов 30...180 градусов в азимутальной плоскости может быть снижен в 1.5...3 раза по отношению к уровню бокового излучения ЦАР без покрытия при одинаковой ширине диаграммы направленности.

Повышение помехоустойчивости антенной системы, в свою очередь, позволит повысить эффективность функционирования радиолокационного комплекса в целом.

Исследование проведено при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, соглашение 14В37.21.2067

Список литературы

1. Василин Н.Я., Гуринович А.Л. Зенитные ракетные комплексы – Мн.: ООО «Попурри», 2002. – 464с.: ил.
2. Васильев Е.Н. Возбуждение тел вращения. – М.: Радио и связь, 1987. – 272с.
3. Габриэльян Д.Д., Звездина М.Ю., Науменко И.Л., Харченко В.В. Расчет характеристик излучения магнитного диполя на цилиндре с покрытием // Сборник алгоритмов и программ типовых задач: Выпуск 27. МО РФ, 2008.
4. Габриэльян Д.Д., Звездина М.Ю., Харченко В.В. Влияние параметров магнитоэлектрического покрытия на излучение продольной щели на цилиндре // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. – 2004. – Т.7. №4.
5. Кузьмин С.З. Основы проектирования систем цифровой обработки радиолокационной информации. – М.: Радио и связь, 1986. – 352с.
6. Петров Б.М. Электродинамика и распространение радиоволн: Учебник для вузов. М.: Радио и связь, 2004. – 559с.
7. Уэйт Д. Электромагнитное излучение из цилиндрических систем. – М.: Сов. радио, 1963.

Рецензенты:

Габриэльян Дмитрий Давидович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры "Информационные технологии в сервисе", Минобрнауки России, Ростовский технологический институт сервиса и туризма (филиал) ФГБОУ ВПО «Южно-Российский государственный университет экономики и сервиса», г. Ростов-на-Дону.

Риполь – Сарагосси Татьяна Леонидовна, доктор технических наук, профессор, Заместитель директора по дополнительному образованию, Минобрнауки России, ФГБОУ ВПО "Московский государственный университет технологий и управления", г. Ростов-на-Дону.