

Д. И. Вельмискин, к. т. н., Б. В. Перелыгин, к. т. н., Т. В. Сиротенко
Одесский государственный экологический университет

ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ И РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ИЗЛУЧЕНИЯ СИСТЕМЫ АНТЕННА – РАДИОПРОЗРАЧНОЕ УКРЫТИЕ С РЕГУЛЯРНЫМИ СЛОЯМИ ОСАДКОВ

Предлагается модель и рассматривается алгоритм расчета характеристик излучения системы антенна – радиопрозрачное укрытие с регулярными слоями осадков.

Ключевые слова: антенна, радиопрозрачное укрытие, регулярные осадки, характеристики излучения, алгоритм.

Введение. Защищая антенну радиопрозрачные укрытия (РПУ) принимают на себя воздействия различных метеосадков. Диэлектрическая постоянная ϵ , тангенс угла потерь $\text{tg}\delta$ различных метеосадков таковы, что их скопления на поверхности РПУ, искажают пространственно-поляризационную структуру проходящей электромагнитной волны. В связи с тем, что значения ϵ и $\text{tg}\delta$ метеосадков изменяются по поверхности РПУ в различных условиях эксплуатации сложным образом, то становится актуальной проблема разработки методов учёта влияния метеосадков на характеристики системы антенна – радиопрозрачное укрытие.

Результаты имеющихся работ по общим вопросам электродинамического расчёта укрытий [1–6], посвящённые расчёту влияния укрытий на поле излучающей антенны, непосредственно использовать для решения этой проблемы невозможно. Это связано с тем, что в большинстве этих работ материал оболочки укрытия предполагается электродинамически однородным как по толщине, так и вдоль образующей укрытия. Однако, на поверхности укрытия практически всегда имеются различные метеосадки. Вопросы влияния осадков на поверхности укрытия на характеристики излучения антенны не исследованы.

Материалы и методы исследований. Рассмотрим трёхмерную векторную задачу о нахождении характеристик излучения системы, представленной на рис. 1. Модель системы антенна – РПУ может быть построена следующим образом:

- параболическая антенна S_0 с первичным облучателем расположенным в точке P , вынесенного из фокуса параболоида F ;
- трёхслойное сферическое укрытие, ограниченное сферами S_1 и S_2 ;
- на поверхности укрытия имеются осадки, ограниченные поверхностью S_2 ;
- полагаем осадки на укрытии регулярными, т.е. их толщина по поверхности укрытия описывается гладкой функцией;

при этом заданными считаются:

- радиусы антенны R_a , укрытия R_0 , фокальный параметр антенны F_a , расстояние между центром облучателя и фокусом антенны;
- толщины h_i и диэлектрические параметры ϵ_i несущих слоев стенки укрытия;
- максимальная толщина h_0 , форма и диэлектрическая проницаемость ϵ_0 слоя осадков.

В соответствии с этой моделью требуется найти векторы напряжённости поля в дальней зоне антенны, рассчитать диаграмму направленности (ДН) системы и ошибки пеленга порождаемые осадками. Для решения поставленной задачи можно предложить следующий алгоритм, состоящий из нескольких блоков.

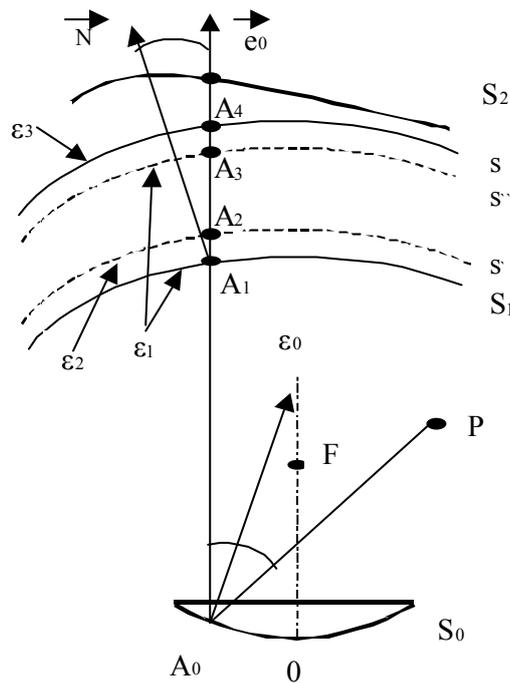


Рис. 1 – Модель системы антенна - укрытие

В первом блоке определяются амплитуды U^0, V^0 и фаза Φ_0 тангенциальных составляющих электрического и магнитного полей на поверхности S_1 . Для этого используется алгоритм, изложенный в [9].

Во втором блоке производится расчёт прохождения волны через трёхслойное укрытие без осадков. При решении этой задачи поле подчиняется соответствующим граничным условиям лишь на S_1, S', S'' , которые остаются неизменными при различных положениях антенны и физических параметрах осадков. Для этого используется методика, изложенная в [7].

В третьем блоке производится расчёт прохождения волны через слой осадков и четырёхслойную структуру в целом. Здесь учитывается структура осадков и взаимное положение антенны и слоя осадков на укрытии, на различных участках поверхности укрытия, где толщины слоя осадков меняется от 0 до нескольких длин волн. Методика решения задачи для тонких и толстых слоёв различна. Перед непосредственным решением локальной задачи, в каждой конкретной расчетной точке производится выбор методики расчёта. Для этого сравнивается набег фазы на толщине слоя осадков $K_0\delta h$ с пороговыми величинами $\xi_1 = 3$ и $\xi_{11} = 10$:

- если $K_0\delta h \leq \xi_1$, то расчёт поля в слое осадков производится методом геометрической оптики, а составляющие поля обозначаются \vec{U}^1, \vec{V}^1 ;
- при $K_0\delta h \geq \xi_{11}$ поле на S_2 рассчитывается по асимптотической методике расчёта дифракции на слоистых структурах большой толщины [10] и обозначаются через \vec{U}^2, \vec{V}^2 ;
- если $\xi_1 < K_0\delta h < \xi_{11}$, то расчёт производится одновременно двумя методами и в качестве поля на ξ_{11} принимается взвешенное среднее:

$$\bar{U} = \frac{\kappa_0 \delta h(A_1) - \xi_1}{\xi_{11} - \xi_1} u^{11} + \frac{\xi_{11} - \kappa_0 \delta h(A_1)}{\xi_{11} - \xi_1} u^1.$$

В четвертом блоке рассчитывается поле в дальней зоне антенны. Эта задача решается путём интегрирования поля по внешней поверхности слоя с помощью специальной кубатурной формулы в следующем порядке. Вначале вычисляется средний поток мощности поля излучения $F_0 = |f_0(0, 0)|^2$ в дальней зоне на оптической оси неукрытой антенны с облучателем, расположенным в фокусе параболоида. К этой величине нормируются все значения рассчитываемых затем полей.

Заметим, что для некоторого дискретного набора значений α', β' находятся составляющие векторного комплексного поля неукрытой антенны при каждом из четырёх положений облучателей, смещённых из фокуса в фокальной плоскости: $f_{a,xy}$ на расстоянии $\pm a$ вдоль оси Ox ; $f_{b,xy}$ на расстоянии $\pm b$ вдоль оси Oy , которые называются парциальными составляющими поля.

В пятом блоке производится расчет диаграммы направленности и ошибки пеленга. Здесь находятся парциальные диаграммы направленности каждого облучателя, суммарная и разностная диаграммы направленности неукрытой антенны и антенны с укрытием и осадками, энергетические потери и ошибки пеленга, порождаемые осадками.

Для оценки изменения поляризационных свойств рассчитываются отдельно x и y составляющие соответствующих диаграмм, которые определяются, как зависимости соответствующих составляющих амплитуды поля антенны с укрытием от угловых координат α', β' :

$$F_{ax}^{\pm} = |f_{ax}^{\pm}|^2; \quad F_{ay}^{\pm} = |f_{ay}^{\pm}|^2; \quad F_{bx}^{\pm} = |f_{bx}^{\pm}|^2; \quad F_{by}^{\pm} = |f_{by}^{\pm}|^2.$$

Эти диаграммы представляют собой, по сути, потоки мощности полей, найденные на предыдущем этапе.

Результаты исследований и их анализ. Применение предлагаемого алгоритма позволит отыскать вначале неискажённую диаграмму направленности [8]:

$$F_0^{\Sigma} = |f_a^+ + f_a^- + f_b^+ + f_b^-|^2 = |f_0^{\Sigma}|^2;$$

$$F_{0a}^{\Delta} = \frac{1}{F_0^{\Sigma}} 2 \operatorname{Re}(f_{0a}^{\Delta} f_0^{\Sigma}); \quad \hat{f}_a^{\Delta} = \hat{f}_a^+ - \hat{f}_a^-;$$

$$F_{0b}^{\Delta} = \frac{1}{F_0^{\Sigma}} 2 \operatorname{Re}(\hat{f}_{0b}^{\Delta} \hat{f}_0^{\Sigma}); \quad \hat{f}_b^{\Delta} = \hat{f}_b^+ - \hat{f}_b^-;$$

и определить значения $F_0 = F_0^{\Sigma}$ при $\alpha' = \beta' = 0$. Этот расчёт производится только один раз.

Суммарные диаграммы направленности антенны с укрытием и осадками рассчитываются без учёта поляризационных искажений

$$F_1^{\Sigma} = \frac{|f^{\Sigma}|^2}{F_0^{\Sigma}}; \quad f^{\Sigma} = f_a^+ + f_a^- + f_b^+ + f_b^-$$

с учётом поляризационных потерь

$$F^{\Sigma} = \frac{1}{F_0^{\Sigma}} |(f^{\Sigma} f^{\Sigma*})|^2,$$

а разностные диаграммы направленности

$$F_a^{\Delta} = \frac{1}{F^{\Sigma}} 2 \operatorname{Re}(f_a^{\Delta} f^{\Sigma*}),$$

$$f_a^{\Delta} = f_a^{+} - f_a^{-},$$

$$F_b^{\Delta} = \frac{1}{F^{\Sigma}} 2 \operatorname{Re}(f_b^{\Delta} f^{\Sigma*}),$$

$$f_b^{\Delta} = f_b^{+} - f_b^{-},$$

Далее находятся ошибки пеленга, т.е. такие значения углов $\alpha' = \Delta\alpha$ и $\beta' = \Delta\beta$, при которых одновременно

$$F_a^{\Delta}(\alpha', \beta') = 0 ; F_b^{\Delta}(\alpha', \beta') = 0 ,$$

Решение подобной системы двух трансцендентных уравнений с двумя неизвестными является довольно сложной задачей. Поэтому нахождение $\Delta\alpha$ и $\Delta\beta$ осуществляется путём отыскания минимума функций

$$F^{\Delta} = (F_a^{\Delta})^2 + (F_b^{\Delta})^2$$

простым перебором значений аргументов α' и β' в начале с большим шагом, затем с более мелким. Найденные таким образом $\Delta\beta$ и $\Delta\alpha$ и принимаются в качестве ошибок пеленга.

Энергетические потери (точнее радиопрозрачность системы) без учета поляризационных эффектов будут равны

$$P_2 = F_1^{\Sigma}(\Delta\alpha, \Delta\beta) / F_0^{\Sigma}(0,0) ,$$

а с учетом поляризационных искажений

$$P_1 = F^{\Sigma}(\Delta\alpha, \Delta\beta) / F_0^{\Sigma}(0,0) ,$$

где $F_0^{\Sigma}(0,0)$ – суммарная диаграмма направленности антенны в отсутствие осадков.

Выводы. В результате выполненных исследований предложена модель и алгоритм расчета характеристик излучения системы антенна - РПУ с регулярными осадками.

Модель и алгоритм позволяют определить характеристики излучения системы для различных осадков (снег, лед, дождь, иней, туман).

Целью дальнейших исследований является разработка методики расчета характеристики излучения антенны при случайных распределениях осадков по поверхности укрытия.

Список литературы

1. Каплун В.А. Обтекатели антенн СВЧ-М. : Сов.радио,1974, с.315.
2. Обтекатели антенн / Пер. с англ. под ред. А.И. Шпунтова. – М.: Сов радио 1950, с. 250.
3. Пригода Б.А., Кожушко В.С. Обтекатели антенн летательных аппаратов – М.: Машиностроение, 1970, с. 380.
4. Ямайкин В.Е., Ковалев В.Н., Маслов В.Г. и др. Основы проектирования антенных устройств СВЧ, ч. 2. – Минск, изд. БГУ, 1972, с. 282.
5. Сканирующие антенные системы СВЧ /Пер. с англ. под ред. Г.Т. Маркова и А.Ф. Чаплина – М.: Сов. радио, 1966, с. 210
6. Walton J.D. Radome Engineering Handbook. – N.Y. 1970, p. 180.
7. Вельмискин Д.И. Алгоритм расчета прохождения ЭМВ через стенку укрытия. Указ.информ.матер.: вып. 1 (4), серия А, 1987. Справка № 1814 .
8. Вельмискин Д.И., Веркау О.В., Кочергина Ю.А. Влияние отражений электромагнитной волны от стенки радиопрозрачного укрытия.//Метеорологія, кліматологія та гідрологія.–2003.–Вип. 47. – с.89-96.
9. Вельмискин Д.И., Перельгин Б.В., Августинский Е.К. Устойчивая модель для расчета диаграммы направленности РЛС в системе антенна - радиопрозрачное укрытие. // Сборник научных работ ОИСВ. – 2002. – Вып.7. – с.102-103.
10. Сухаревский И.В. О прохождении электромагнитной волны через радиопрозрачный слой. Радиотехника и электроника. Вып.12(2), 1967, с.12-14.

Побудова моделі та розробка алгоритму визначення характеристик випромінювання системи антена - радіопрозорі укряття з регулярними шарами опадів. Вельміскін Д.І., Перелігін Б.В., Сиротенко Т.В.

Пропонується модель та розглядається алгоритм розрахунку характеристик випромінювання системи антена – радіопрозорі укряття з регулярними шарами опадів.

Ключові слова: антена, радіопрозорі укряття, регулярні опади, характеристики випромінювання, алгоритм.

Building of model and logic design characterization of emission of antenna-radar dome system with regular layers of fall –out. D. Velmiskin, B. Perelygin, T. Sirotenko

Propose a model and algorithm of description calculation of emission of antenna – radar dome system with regular layers of fall-out.

Keywords: antenna, radiotransparent shelter, regular deposits , characteristics of radiation, algorithm.