

РАСЧЕТ ПОЛЯ РЛС МЕТОДОМ ПАРАБОЛИЧЕСКОГО УРАВНЕНИЯ В ТРЕХМЕРНОМ ПРОСТРАНСТВЕ С УЧЕТОМ ПРЕПЯТСТВИЙ

В.А. Пермяков, М.С. Михайлов, Е.С. Малевич, В.И. Мандель

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»
111250, г. Москва, Красноказарменная ул., 14,
тел. +7 (495)362-72-42, e-mail: valerypermyakov@yandex.ru

Изучена зависимость модуля напряженности электрического поля РЛС над поверхностью земли при наличии препятствий в виде куба с высокой проводимостью и лесного массива на радиотрассе, рассчитанная методом двумерного параболического уравнения в трехмерной области пространства.

CALCULATION OF THE FIELD RADAR STATION BY METHOD OF PARABOLIC EQUATION IN THREE-DIMENSIONAL SPACE TAKING INTO ACCOUNT OBSTRUCTIONS

V.A. Permyakov, M.S. Mikhailov, E.S. Malevich, V.I. Mandel

National Research University «Moscow Power Engineering Institute».
111250, Moscow, Krasnokazarmennaya str., 14,
phone +7 (495)362-72-42, e-mail: valerypermyakov@yandex.ru

The dependence of the modulus of the field of radar station above the Earth's surface with obstructions (cube, forest) with help of parabolic equation method in three-dimensional space was calculated.

Введение

При проектировании мощных радиотехнических (РТС) существует необходимость оценки величины напряженности электромагнитного поля с учетом сложного рельефа местности, включающего неровности земной поверхности, лесные массивы, здания и др. В докладе рассматривается распространение радиоволн с использованием двумерного параболического уравнения в трехмерной области пространства. Реализованный в работе подход может быть полезен для расчета санитарно-защитных зон и зон ограничения застройки вблизи РТС.

О методе параболического уравнения.

Скалярное уравнение Гельмгольца относительно вертикальной компоненты напряженности электрического поля

$$\Delta U + k_0^2 \epsilon U = 0. \quad (1)$$

сводится к уравнению для функции $W(x,y,z)$ подстановкой

$$U(x, y, z) = W(x, y, z) \exp(-ik_0 z). \quad (2)$$

В предположении, что функция $W(x,y,z)$ является медленно меняющейся функцией координаты z по сравнению с изменением по поперечным координатам, полученное уравнение сводится к параболическому уравнению (ПУ):

$$\frac{\partial^2 W}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 W}{\partial x^2} - 2ik_0 \frac{\partial W}{\partial z} + k_0^2 [\epsilon(x, y, z) - 1] W = 0. \quad (3)$$

На верхней и боковых границах вне параллелепипеда, охватывающего препятствие, для ПУ (3) ставится поглощающее граничное условие, на поверхности земли — справедливое при скользких углах падения волны граничное условие $W = 0$. Решение двумерного ПУ в трехмерной области пространства проводится с использованием преобразований Фурье в плоскости (x,y) для каждого сечения $z = \text{const}$ [1].

Практическая реализация

Источник сигнала — фазированная антенная решетка (ФАР) из 10×100 элементов — вертикальных полуволновых вибраторов, расстояние между соседними элементами — 0.5λ . Высота расположения над землей центра ФАР — 8 м. Поляризация излучения — вертикальная. Рабочая частота 500 МГц. Режим излучения — непрерывный. Геометрия задачи в общем виде приведена на рисунке 1. Препятствие задается в виде куба с высокой проводимостью или лесного массива аналогичной формы с эффективной диэлектрической проницаемостью.

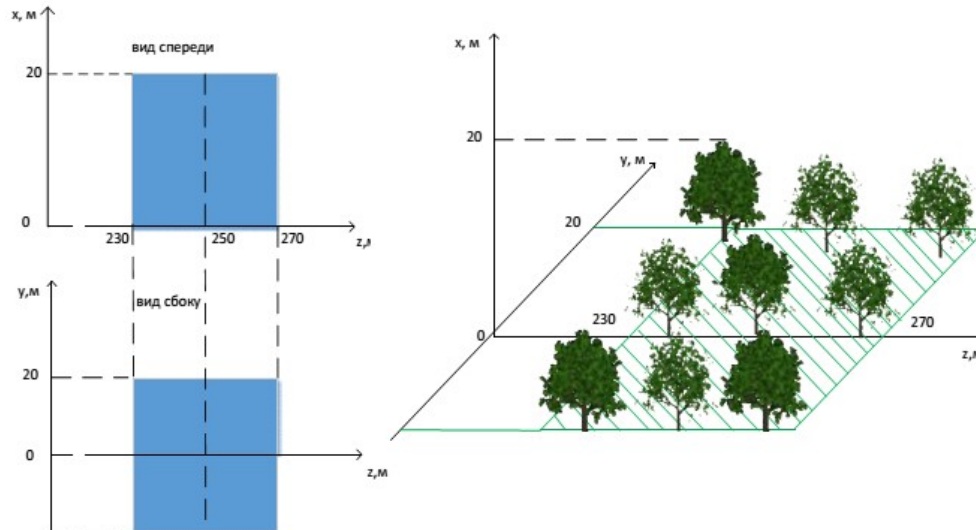


Рис. 1. Геометрия нерегулярностей в виде лесного массива и куба на поверхности Земли

Начальное распределение поля рассчитывалось в приближении геометрической оптики на расстоянии 200 м от ФАР с учетом отражения от земли. Расчет поля методом ПУ проводился до расстояния 1000 м. На рисунках 2 и 3 линией 1 показана зависимость модуля напряженности электрического поля над плоской поверхностью Земли в отсутствие препятствия, линией 2 — при наличии препятствия в виде куба с высокой проводимостью, линией 3 — при наличии лесного массива на радиотрассе. Диэлектрическая проницаемость и удельная проводимость лесного массива были приняты равными $\epsilon = 1,004$ и $\sigma = 0,18 \cdot 10^{-3}$ См/м.

Результаты

На рис. 2 приведены результаты расчета модуля напряженности электрического поля от высоты над землей на трех дальностях от антенны — а) 231 м, за началом препятствия, б) 260 м, сразу за окончанием препятствия, в) 1000 м. На рис. 3 приведены результаты расчета модуля напряженности электрического поля от горизонтальной координаты y на высоте 2 м от земли на двух дальностях от антенны а) 231 м, б) 1000 м. Из рис. 2 видно, что поле в лесном массиве имеет вид стоячей волны вследствие отражения от земли и затухает в пределах леса незначительно из-за небольшой длины леса. На больших расстояниях от препятствия (рис. 2, 3) поле за препятствием имеет интерференционную структуру, аналогичную полю над землей без препятствий, однако амплитуда поля за препятствиями оказывается меньше, чем над плоской землей вследствие того, что за препятствиями поле формируется процессами дифракции.

Заключение

Реализованный метод решения ПУ позволяет оценить структуру электромагнитного поля ФАР в трехмерной области над поверхностью Земли при наличии сложных препятствий в зоне Френеля. Влияние препятствий проявляется в усложнении интерференционной структуры поля из-за дифракции поля на препятствиях. Метод позволяет провести расчет санитарно-защитных зон и зон ограничения застройки вблизи мощных РТС с учетом профиля местности и при

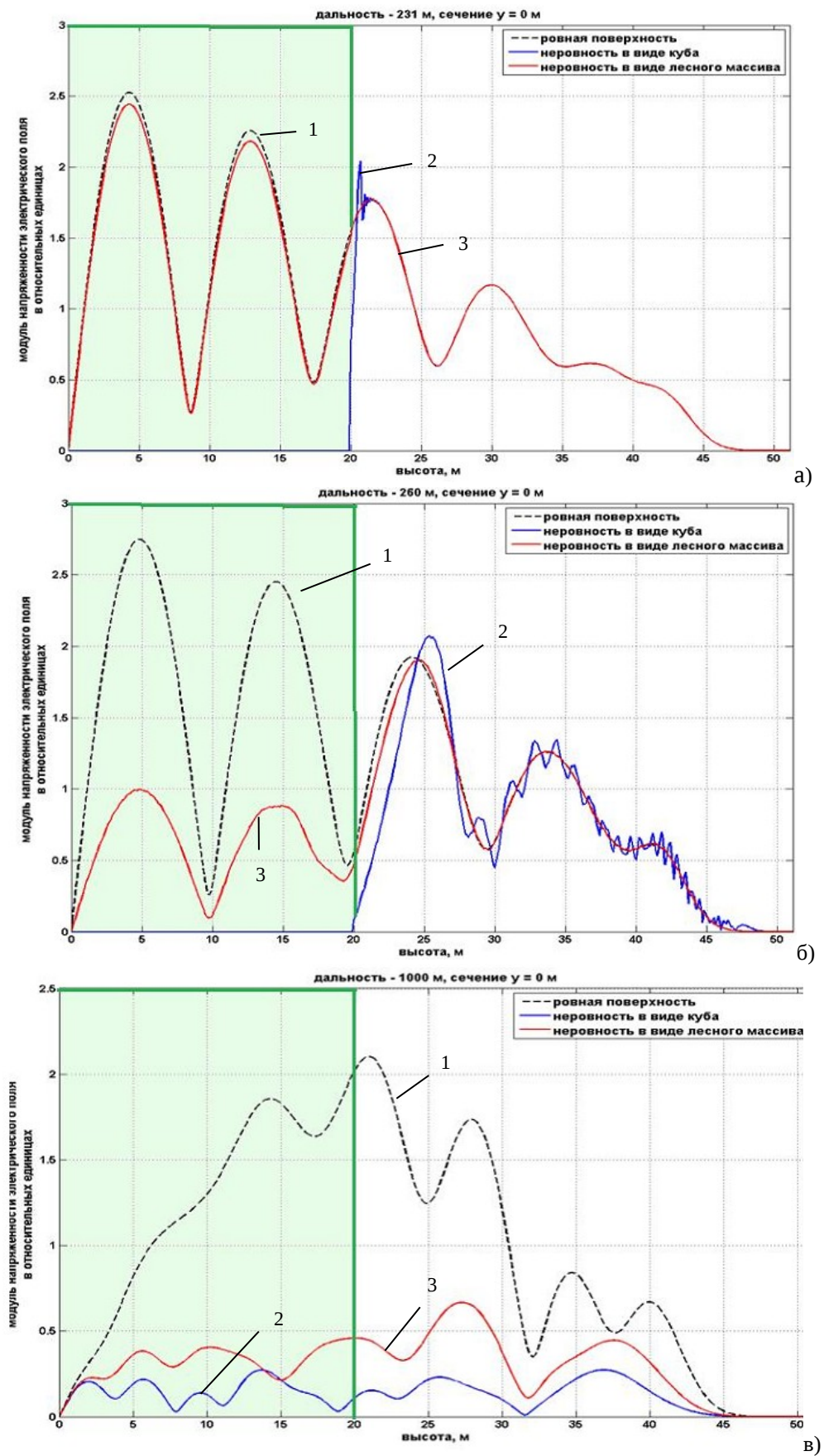


Рис. 2. Зависимость модуля напряженности поля от высоты на дальностях 231, 260 и 1000 м.

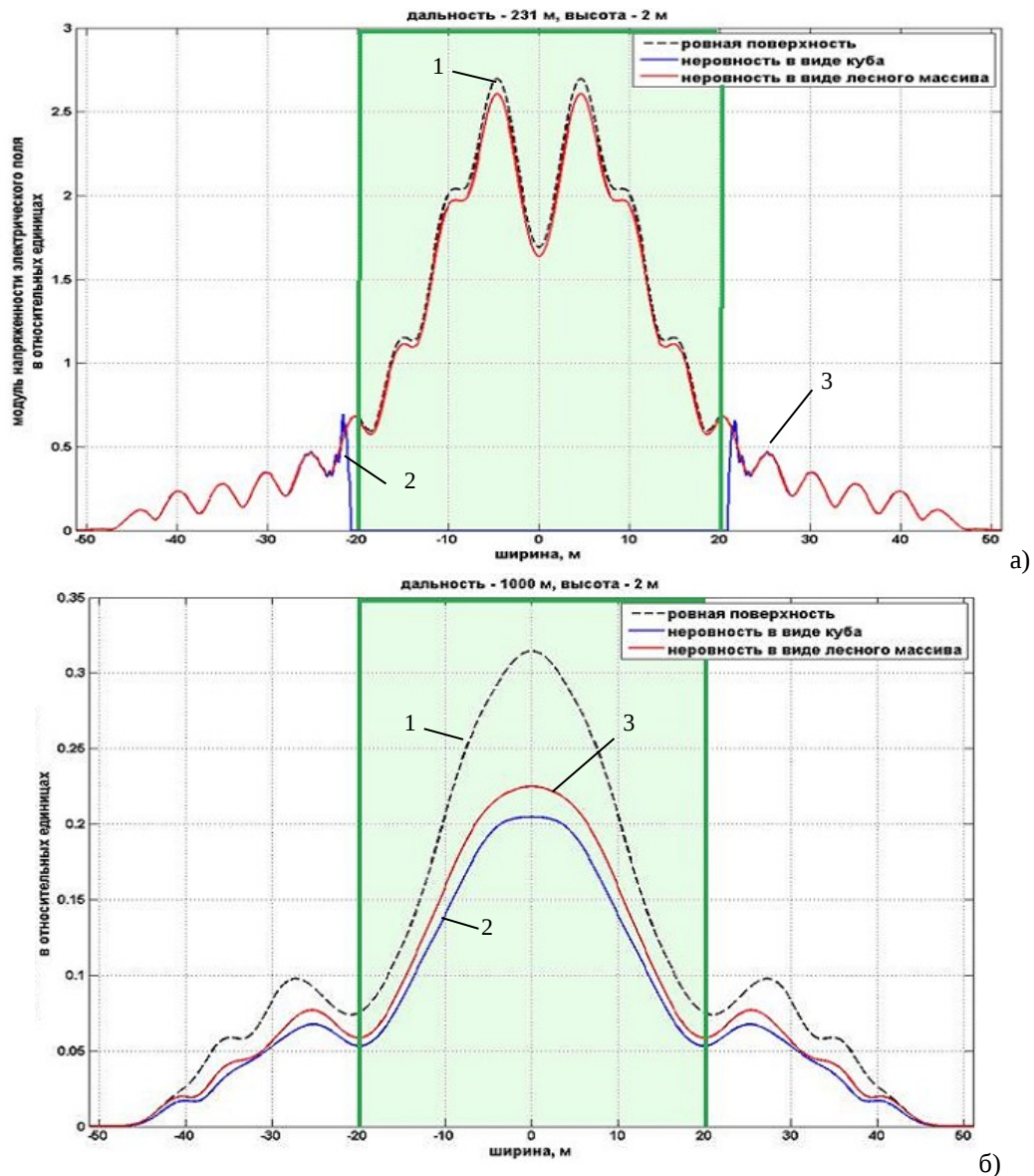


Рис. 3. Зависимость модуля напряженности поля от координаты y на высоте 2 м и дальностях 231 и 1000 м.

наличии препятствий, в том числе защитных экранов и их влияния на величину напряженности электрического поля. Реализованный метод может быть использован также для оценки диаграммы направленности и других характеристик мощных радиосистем.

Работа поддержана государственным заданием в сфере научной деятельности в проектной части №8.152.2014/К.

ЛИТЕРАТУРА

1. Михайлов М.С. Расчет энергетических характеристик фазированных антенных решеток над нерегулярной поверхностью методом параболического уравнения. Дисс. на соискание ученой степени к.т.н. — М. НИУ «МЭИ», 2015 г.