

**ГЕОПРОСТРАНСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ
ПОЛЕЙ В РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМАХ
С УЧЕТОМ ОТРАЖЕНИЙ**

А. К. Гришко

**GEOSPATIAL ANALYSIS OF ELECTROMAGNETIC FIELDS
IN THE RADIO-ELECTRONIC SYSTEMS
BASED ON REFLECTIONS**

A. K. Grishko

Аннотация. Актуальность и цели. Приведены результаты исследования процессов функционирования радиоэлектронной системы в условиях интерференционных помех. Эти помехи связаны с отражениями электромагнитных волн от подстилающей поверхности, формирующими интерференционные явления в радиоканалах. Эффективность функционирования радиоканалов систем передачи информации зависит от интенсивности отраженных излучений, которая напрямую зависит от сложности рельефа, и ее оценка является актуальной исследовательской задачей. Предметом исследования является геопропространственная модель радиоканала. Цель работы состоит в том, чтобы оценить интенсивность отраженных излучений и степень интерференции в радиоэлектронных системах с учетом влияния рельефа местности. *Материалы и методы.* Предлагается интерференционная модель функционирования радиоканала, построенная на основе применения геоинформационных систем и методов геометрической оптики. *Результаты.* В результате такого подхода получены модели для расчета и анализа эффективности функционирования радиоэлектронных систем, учитывающие отражения от подстилающей поверхности. *Выводы.* На основе предложенных моделей можно осуществлять оптимальное планирование частотного ресурса с целью уменьшения уровня помех для радиоэлектронных средств, а также оптимизировать размещение приемопередающих станций с учетом рельефа окружающей местности.

Ключевые слова: интерференционная модель, радиоканал, геоинформационные системы.

Abstract. Background. The article presents a study about the functioning of electronic systems at work in the process of interference. The subject of this study is to geospatial radio model. The efficiency of radio systems of information transfer in conditions of rugged terrain with difficult terrain forms, is an urgent research task. The purpose of this study is to assess the intensity of interference in electronic systems taking into account the influence of the terrain. *Materials and methods.* It is proposed to model the functioning of radio interference, built on the basis of geoinformation systems and methods of geometrical optics. *Results.* As a result of this approach, a model for calculation and analysis of the efficiency of electronic systems, taking into account the reflection from the surface they spread. *Conclusions.* Based on the proposed models can be made optimal use of frequency resources in order to reduce the level of interference to radio-electronic means, as well as to optimize the placement of transceiver stations, taking into account the surrounding terrain.

Key words: interference model, radio channel, GIS.

Введение

Явления интерференции возникают в большинстве радиотехнических систем [1, 2]. Наибольшую часть деструктивной интерференции представляет влияние рельефа местности на процесс распространения радиоволн. Поэтому вполне логично проводить оценку эффективности распространения радиосигналов на основе геоинформационных технологий и систем [3, 4].

В работе проводится моделирование и предлагается методика оценки интерференции радиосигналов, опирающиеся на электронные модели рельефа местности.

Постановка задачи

Решение поставленной задачи предлагается в виде геопространственной интерференционной модели радиосигнала [4, 5]. Электронная модель рельефа местности представляет собой совокупность элементарных площадок [6–8], представленных на рис. 1.

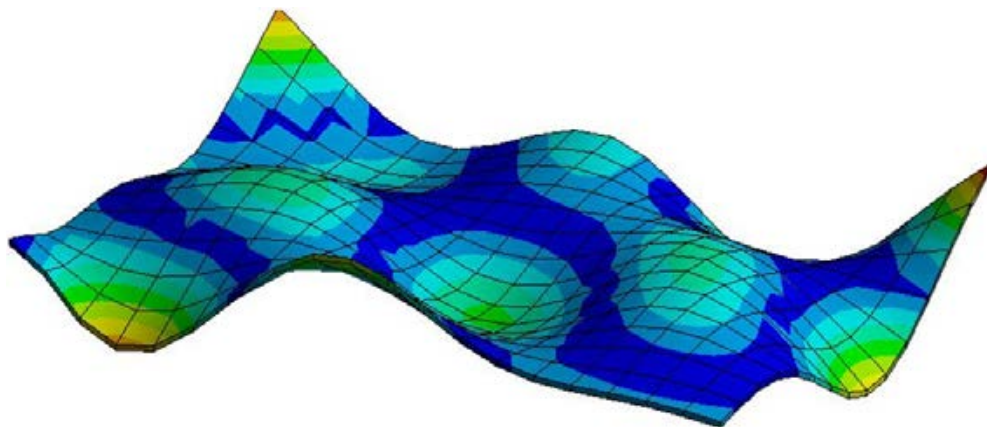


Рис. 1. Электронная модель рельефа местности

Элементарная площадка, в свою очередь, представляет элемент регулярной сетки, который покрывает рассматриваемую территорию. У каждой элементарной площадки имеются следующие характеристики: наклон к горизонтальной плоскости, определенная ориентация в пространстве, координаты, диэлектрическая проницаемость и удельная проводимость. Соответственно, любому участку земной поверхности можно дать оценку как возможному источнику формирования отраженной радиоволны. В результате предлагаемого подхода направление отраженного излучения можно определить на основе положения элементарной площадки в пространстве [9, 10].

Определение значений интенсивности отраженного излучения

Значение интенсивности отраженного излучения пропорционально коэффициенту отражения элементарной площадки, зависящего от вида подсти-

лающей поверхности, а также угла падения радиоволны на элементарную площадку:

$$R_{\text{В}i} = \frac{\varepsilon_i' \sin \Delta_i - \sqrt{\varepsilon_i' - \cos^2 \Delta_i}}{\varepsilon_i' \sin \Delta_i + \sqrt{\varepsilon_i' - \cos^2 \Delta_i}}, \quad R_{\Gamma i} = \frac{\sin \Delta_i - \sqrt{\varepsilon_i' - \cos^2 \Delta_i}}{\sin \Delta_i + \sqrt{\varepsilon_i' - \cos^2 \Delta_i}}, \quad (1)$$

где $R_{\text{В}i}$ – значение коэффициента отражения i -й элементарной площадки с учетом вертикальной поляризации; $R_{\Gamma i}$ – значение коэффициента отражения i -й элементарной площадки с учетом горизонтальной поляризации; ε_i' – значение комплексной диэлектрической проницаемости подстилающей поверхности i -й элементарной площадки; Δ_i – угол скольжения отраженной радиоволны от i -й элементарной площадки, который вычисляется по следующей формуле:

$$\Delta_i = 90^\circ - \arccos \frac{(x_1 - x_i)x_{ni} + (y_1 - y_i)y_{ni} + (z_1 - z_i)z_{ni}}{\sqrt{(x_2 - x_i)^2 + (y_2 - y_i)^2 + (z_2 - z_i)^2} \sqrt{x_{ni}^2 + y_{ni}^2 + z_{ni}^2}}, \quad (2)$$

где x_1, y_1, z_1 – значения координат передающей антенны; x_2, y_2, z_2 – значения координат принимающей антенны; x_i, y_i, z_i – значения координат i -й точки отражения; x_{ni}, y_{ni}, z_{ni} – значения координат вектора нормали к поверхности в i -й точке отражения.

Положение площадки можно определить с помощью координат центральной точки и вектора нормали, который можно выразить через значения наклона к горизонтальной плоскости и ориентацией в пространстве [10, 11]:

$$x_n = \left(\frac{s}{100} \right)^2 \sin \alpha, \quad y_n = \left(\frac{s}{100} \right)^2 \sin \alpha, \quad z_n = \frac{s}{100}, \quad (3)$$

где угол α – угол между проекцией отражающей площадки на плоскость XOY и осью OY ; s – величина, которая показывает наклон отражающей элементарной площадки и рассчитывается в процентах.

Пространственный анализ отраженного излучения

Определение элементарных площадок, которые участвуют в формировании отраженного излучения, выполняется с помощью пространственного анализа. В трехмерном пространстве производится построение треугольника для каждой потенциальной точки отражения с вершинами в точках A_1 (излучатель), A_2 (приемник), R (точка отражения), с соответствующими значениями координат (x_1, y_1, z_1) , (x_2, y_2, z_2) и (x_R, y_R, z_R) [10–12]. Условие отражения будет выполняться, если нормаль к поверхности будет совпадать с биссектрисой угла A_1RA_2 , который образован падающим и отраженным лу-

чами. Угол $\beta = 0$ в этом случае и элементарная площадка будет являться отражающей, если выполняется следующее условие:

$$\cos\beta = 1. \quad (4)$$

Угол β между вектором биссектрисы b и нормалью к отражающей поверхности n будет определяться по формуле

$$\beta = \arccos \frac{b \cdot n}{|b| \cdot |n|} = \arccos \left(\frac{x_b x_n + y_b y_n + z_b z_n}{d_b d_n} \right), \quad (5)$$

где x_b, y_b, z_b – значения координат вектора биссектрисы; d_b и d_n – значения длин векторов биссектрисы и нормали:

$$d_b = \sqrt{x_b^2 + y_b^2 + z_b^2}, \quad d_n = \sqrt{x_n^2 + y_n^2 + z_n^2}. \quad (6)$$

Формирование интерференционного множителя

Принимаемое отраженное электромагнитное радиоизлучение будет складываться из энергии радиоволн, которые отражаются от элементарных площадок в направлении приемной антенны. Таким образом, интерференционный множитель, который учитывает все отражения от неровностей рельефа, будет определяться по следующей формуле [7, 11–14]:

$$F = \left| 1 + R_1 e^{-ik\Delta r_1} + R_2 e^{-ik\Delta r_2} + \dots + R_n e^{-ik\Delta r_n} \right|, \quad (7)$$

где k – волновое число, $k = 2\pi / \lambda$; R – коэффициент отражения (1); Δr_1 – разность хода прямого и отраженного лучей,

$$\Delta r_1 = r_1 - r, \quad (8)$$

где r – расстояние между приемной и передающей антеннами; r_1 – расстояние, которое проходит отраженный луч:

$$r_i = \sqrt{(x_1 - x_i)^2 + (y_1 - y_i)^2 + (z_1 - z_i)^2} + \sqrt{(x_2 - x_i)^2 + (y_2 - y_i)^2 + (z_2 - z_i)^2}. \quad (9)$$

Анализ результатов экспериментальных исследований

Использование полученных выражений возможно при определении напряженности электрической составляющей электромагнитного поля волн, отраженных от сложных по форме поверхностей, которые возможно разбить на более мелкие части прямоугольной формы.

Проведенные исследования в работах [11, 14–16] позволили получить функциональную зависимость направленных свойств набора элементарных площадок в горизонтальной $F_{nn}(\theta)$ и вертикальной $F_{nn}(0)$ плоскостях от угла отражения падающих на них и отраженных от них электромагнитных волн, представленную на рис. 2.

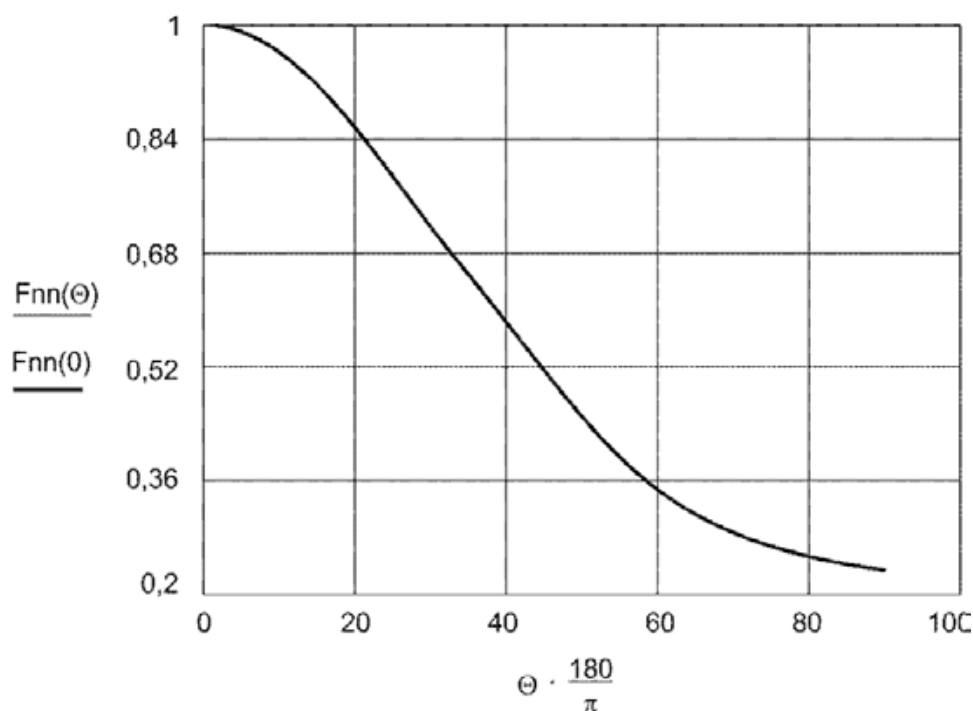


Рис. 2. Функциональная зависимость направленных свойств набора элементарных площадок от угла отражения

Анализ полученных результатов исследований позволил сделать вывод о том, что в случае однотипного разбиения и линейной ориентации элементарных площадок вдоль одной из двух главных плоскостей распространения электромагнитной волны оптимальный размер элементарной площадки должен составлять порядка $(4 \div 7)\lambda$, где λ – длина волны. При этом соотношение общего линейного размера L рассматриваемой поверхности к длине отражаемых ею электромагнитных волн составляет $L/\lambda = 60$.

Дальнейшее увеличение числа элементарных площадок при всех прочих равных условиях не приводит к возрастанию точности вычислений.

Заключение

Реализовать предлагаемую методику можно на основе применения геоинформационных технологий, что с помощью электронной топографической информации будет давать возможность выявлять зоны интерференции деструктивного характера [9, 14–16].

Предлагаемая методика геоинформационного моделирования радиоканала передачи информации позволяет выявлять причины снижения эффективности его функционирования, которое обусловлено наличием областей, где у радиосигнала имеются наихудшие условия для распространения вследствие геометрической невидимости из-за элементов рельефа местности и многократных отражений от объектов местности. На основе предложенных моделей можно осуществлять оптимальное планирование частотного ресурса

с целью уменьшения уровня помех для радиоэлектронных средств, а также оптимизировать размещение приемопередающих станций с учетом рельефа окружающей местности.

Библиографический список

1. Борн, М. Основы оптики : пер. с англ. / М. Борн, Э. Вольф. – 2-е изд. – М. : Наука, 1973. – 720 с.
2. Generalized structural models of complex distributed objects / M. Yu. Mikheev, T. V. Zhashkova, A. B. Shcherban, A. K. Grishko, I. M. Rybakov // IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS) (Yerevan, Armenia, October 14–17, 2016). – Yerevan, Armenia, 2016. – P. 1–4. DOI: 10.1109/EWDTS.2016.7807742.
3. Юрков, Н. К. Проблема обеспечения электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств / Н. К. Юрков, П. Г. Андреев, А. С. Жумабаева // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. – 2015. – Т. 1. – С. 201–203.
4. Гришко А. К. Оптимальное управление параметрами системы радиоэлектронных средств на основе анализа динамики состояний в условиях конфликта / А. К. Гришко // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2016. – № 2 (38). – С. 102–111. DOI: 10.21685/2072-3059-2016-2-9.
5. Якимов, А. Н. Моделирование распространения электромагнитных волн в помещении с учетом влияния местных предметов / А. Н. Якимов, П. Г. Андреев, В. В. Князева // Журнал радиоэлектроники. – 2015. – № 2. – С. 8.
6. Гришко А. К. Оптимальное управление частотным ресурсом радиотехнических систем на основе вероятностного анализа динамики информационного конфликта / А. К. Гришко // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. – 2016. – № 57. – С. 21–28. DOI: 10.21667/1995-4565-2016-57-3-21-28.
7. Гришко, А. К. Анализ математических моделей расчета электроакустических полей и дальности действия радиолокационных систем методом последовательного анализа / А. К. Гришко, Н. В. Горячев, Н. К. Юрков // Инженерный вестник Дона. – 2015. – Т. 35, № 2-1. – С. 16.
8. Андреев, П. Г. Оценка влияния местных предметов на распространение электромагнитных волн в помещении / П. Г. Андреев, А. Н. Якимов // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. – 2013. – Т. 2. – С. 6–9.
9. Якимов, А. Н. Построение геометрической модели излучения зеркальной параболической антенны / А. Н. Якимов, П. Г. Андреев, М. В. Ширшов // Радиоэлектронная техника. – 2013. – № 1. – С. 46–49.
10. Гришко, А. К. Управление электромагнитной устойчивостью радиоэлектронных систем на основе вероятностного анализа динамики информационного конфликта / А. К. Гришко, А. С. Жумабаева, Н. К. Юрков // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. – 2016. – № 4 (18). – С. 66–75.
11. Grishko, A. K. Parameter control of radio-electronic systems based of analysis of information conflict / A. K. Grishko // 13th International Scientifictechnical Conference on Actual Problems of Electronic Instrument Engineering (APEIE) (Novosibirsk, Russia, October 3–6, 2016) – Novosibirsk, 2016. – P. 107–111. DOI: 10.1109/APEIE.2016.7806423.
12. Анализ отсчетных сегментов следа вибрационного размытия изображения круглой метки / А. В. Григорьев, И. И. Кочегаров, С. А. Бростилов, Н. В. Горячев, П. Г. Андреев // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. – 2016. – Т. 2. – С. 37–41.
13. Grigor'ev, A. Way of Measurement of Parameters of Vibrations of Mirror Antennas / A. Grigor'ev, N. Goryachev, N. Yurkov // International Siberian Conference on Control

and Communications (SIBCON). – Moscow, Russia, 2015. – P. 7147031. DOI: 10.1109/SIBCON.2015.7147031.

14. Grishko, A. Dynamic Analysis and Optimization of Parameter Control in Radio Systems in Conditions of Interference / A. Grishko, N. Goryachev, I. Kochegarov, N. Yurkov // International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON) (Moscow, Russia, May 12–14, 2016). – Moscow, Russia, 2016. – P. 1–4. DOI: 10.1109/SIBCON.2016.7491674.
15. Grishko, A. Adaptive Control of Functional Elements of Complex Radio Electronic Systems / A. Grishko, N. Goryachev, N. Yurkov // International Journal of Applied Engineering Research. – 2015. – Vol. 10, № 23. – P. 43842–43845.
16. Andreev, P. G. Methods of Calculating the Strength of Electric Component of Electromagnetic Field in Difficult Conditions / P. G. Andreev, A. N. Yakimov, N. K. Yurkov, I. I. Kochegarov // 12th International Conference on Actual Problems of Electron Devices Engineering (APEDE) (Saratov, Russia, September 22–23, 2016) – Saratov, Russia, 2016. – Vol. 1. – P. 1–7. DOI: 10.1109/APEDE.2016.7878895.

Гришко Алексей Константинович

кандидат технических наук, доцент,
кафедра конструирования и производства
радиоаппаратуры,
Пензенский государственный
университет
E-mail: alexey-grishko@rambler.ru

Grishko Alexey Konstantinovich

candidate of technical sciences, associate
professor, sub-department of designing and
production of radio equipment,
Penza State University

УДК 621.396: 621.37

Гришко, А. К.

Геопространственный анализ электромагнитных полей в радиоэлектронных системах с учетом отражений / А. К. Гришко // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2017. – № 2 (22). – С. 163–169.