

УДК 621.396.6:621.391.827

## МЕТОДИКА РАСЧЕТА УГЛОВ ОРИЕНТАЦИИ АНТЕНН ПЕРЕДАТЧИКА И ПРИЕМНИКА ПОМЕХИ ПРИ АНАЛИЗЕ ЭМС РЭС

О.И. КОРОЛЬКОВА, В.М. КОЗЕЛ, К.Л. ГОРБАЧЕВ

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
П.Бровки, 6, Минск, 220013, Беларусь

Поступила в редакцию 18 июня 2012

Изложена методика расчета углов ориентации антенны передатчика и приемника помехи, а также расчета истинного разностного угла, получена зависимость ошибки вычисления значений разностного угла при использовании приближенной формулы расчета.

*Ключевые слова:* азимут, угол места, профиль трассы, разностный угол.

### Введение

В настоящее время, когда разрабатывается и вводится в эксплуатацию все больше радиоэлектронных средств, достаточно остро стоит проблема нехватки частотного ресурса. Исходя из этого, возникает задача обеспечения электромагнитной совместимости нескольких систем, работающих в совмещенной полосе частот. Важной составляющей этой задачи является прогнозирование возможных помех между этими системами. Приведенная ниже методика расчета играет значительную роль для определения условий нормального функционирования радиоэлектронных средств в совмещенных полосах частот.

### Методика расчета азимута направления от передатчика на приемник помехи

Для расчета азимута  $\alpha_{TX}$  (по часовой стрелке относительно истинного севера) направления от передатчика помехи на приемник помехи используется следующая формула [1]:

$$\alpha_{TX} = \arccos\left(\frac{\sin(\varphi_{RX}) - \sin(\varphi_{TX}) \cdot \cos(\theta)}{\cos(\theta) \cdot \cos(\varphi_{TX})}\right), \text{ если } \psi_{TX} - \psi_{RX} \leq 0.$$

$$\alpha_{TX} = 360 - \arccos\left(\frac{\sin(\varphi_{RX}) - \sin(\varphi_{TX}) \cdot \cos(\theta)}{\sin(\theta) \cdot \cos(\varphi_{TX})}\right), \text{ если } \psi_{TX} - \psi_{RX} > 0,$$

$$\theta = \arccos \sin(\varphi_{TX}) \cdot \sin(\varphi_{RX}) + \cos(\varphi_{TX}) \cdot \cos(\varphi_{RX}) \cdot \cos \psi_{TX} - \psi_{RX},$$

где  $\varphi_{RX}, \varphi_{TX}$  – широта расположения передатчика и приемника помехи соответственно;  $\psi_{TX}, \psi_{RX}$  – долгота расположения передатчика и приемника помехи соответственно.

Расстояние между передатчиком и приемником помехи  $d$  может быть рассчитано как  $d = 6371000 \cdot \theta$ .

Далее необходимо рассчитать разность азимутов направления от передатчика на приемник помехи и ориентации антенны передатчика помехи  $\Delta\alpha_{TX}$  (по часовой стрелке от азимута ориентации антенны на азимут направления на приемник):

$$\Delta\alpha_{TX} = \alpha_{TX} - \alpha_{TX0},$$

где  $\alpha_{TX0}$  – азимут антенны передатчика помехи.

Величина  $\Delta\alpha_{TX}$  может принимать значения  $0^\circ \dots 360^\circ$ .

### Методика расчета угла места направления от передатчика помехи на приемник помехи

Угол места направления от передатчика на приемник помехи определяется с помощью методики, изложенной в [1]. Угол места линии, соединяющей две точки на профиле трассы, определяется из прямоугольного треугольника с учетом отличия горизонтали передатчика от горизонтали трассы за счет «выгибания» земли (знак угла места отрицательный при наклоне антенны к земле):  $\theta_i = -\theta'_i - \theta''_i$ , где  $\theta'_i$  вычисляется по формуле:

$$\theta'_i = \arctg \left[ \frac{h_{TX} + h_{ATX} - h_i + h_{ei}}{d_i} \right] \approx \frac{h_{TX} + h_{ATX} - h_i + h_{ei}}{d_i},$$

где  $h_{ei}$  вычисляется следующим образом:  $h_{ei} = \frac{d_i \cdot (d - d_i)}{2 \cdot R_{eq}}$ ,

$\theta''_i$  вычисляется по формуле:  $\theta''_i = \arctg \left[ \frac{\partial}{\partial d_i} (h_{ei}) \right]$  – для  $d_i = 0$ ,

допустимо вычисление по приближенной формуле:  $\theta''_i \approx \frac{d}{2R_{eq}}$ ,

где  $h_i$  – высота  $i$ -й точки профиля над уровнем моря с учетом местных предметов;  $h_{ei}$  – высота «выгибания» земли в  $i$ -й точке профиля, формула взята из [2];  $h_{TX}$  – высота точки расположения передатчика помехи над уровнем моря (высота 0-й точки профиля);  $h_{ATX}$  – высота подвеса антенны передатчика помехи над уровнем земли;  $d_i$  – расстояние от передатчика помехи до  $i$ -й точки профиля;  $d$  – расстояние между передатчиком и приемником помехи;  $R_{eq}$  – эквивалентный радиус Земли.

$$\theta_i = \frac{h_i + h_{ei} - h_{TX} + h_{ATX}}{d_i} - \frac{d}{2 \cdot R_{eq}} = \frac{h_i - h_{TX} + h_{ATX}}{d_i} + \frac{d_i \cdot (d - d_i)}{d_i \cdot 2 \cdot R_{eq}} - \frac{d}{2 \cdot R_{eq}} =$$

$$\frac{h_i - (h_{TX} + h_{ATX})}{d_i} - \frac{d_i}{2 \cdot R_{eq}}.$$

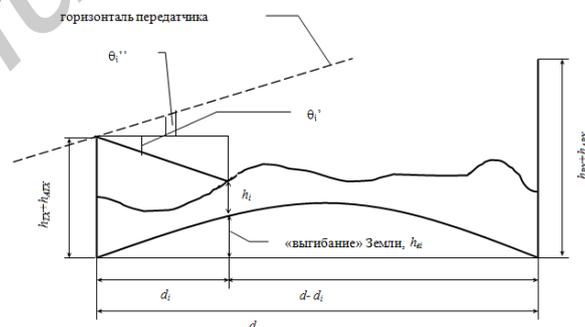


Рис. 1. Взаимное расположение передатчика и приемника помехи с учетом рельефа местности

Далее определяется наличие прямой видимости между антеннами передатчика и приемника помехи. Если линия визирования между антеннами передатчика и приемника помехи не пересекает профиль трассы с учетом местных предметов, то трасса считается трассой прямой видимости. По методике, изложенной в [1] угол места  $\theta_{TX}$  линии визирования между антеннами передатчика и приемника помехи не должен быть меньше угла места  $\theta_i$  линии визи-

рования между антенной передатчика помехи и каждой точкой профиля трассы с учетом местных предметов:

$$\theta_{TX} \geq \theta_{\max},$$

$$\text{где } \theta_{\max} = \max_{i=1}^{n-1} \theta_i, \quad (1)$$

$$\theta_i = \frac{h_i - (h_{TX} + h_{ATX})}{d_i} - \frac{d_i}{2 \cdot R_{eq}}.$$

Угол места линии визирования между антеннами передатчика и приемника помехи определяется по следующей формуле:

$$\theta_{TX} = \frac{h_{RX} + h_{ARX} - h_{TX} + h_{ATX}}{d} - \frac{d}{2 \cdot R_{eq}}, \quad (2)$$

где  $n$  – общее число точек профиля трассы, 0-я точка соответствует точке расположения передатчика помехи,  $n$ -я точка – точке расположения приемника помехи;  $h_i$  – высота  $i$ -й точки профиля над уровнем моря с учетом местных предметов;  $h_{TX}$  – высота точки расположения передатчика помехи над уровнем моря (высота 0-й точки профиля);  $h_{ATX}$  – высота подвеса антенны передатчика помехи над уровнем земли;  $h_{RX}$  – высота точки расположения приемника помехи над уровнем моря (высота  $n$ -й точки профиля);  $h_{ARX}$  – высота подвеса антенны приемника помехи над уровнем земли;  $d_i$  – расстояние от передатчика помехи до  $i$ -й точки профиля;  $d$  – расстояние между передатчиком и приемником помехи;  $R_{eq}$  – эквивалентный радиус Земли, берется медианное значение.

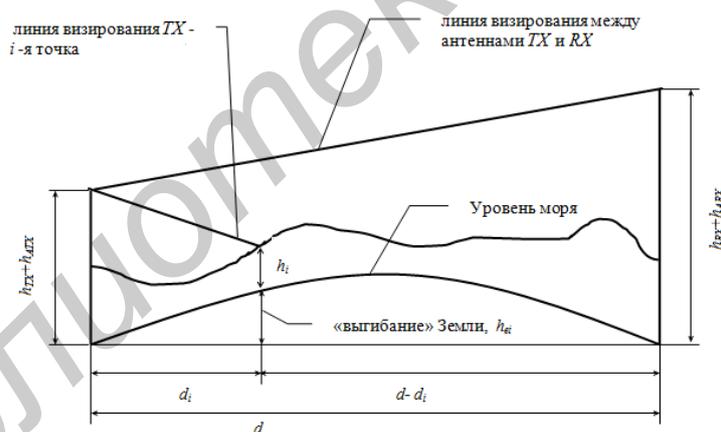


Рис. 2 Расположение передатчика и приемника помехи для определения прямой видимости

Если трасса между передатчиком и приемником помехи открытая, то угол места антенны передатчика  $\gamma_{TX}$ :

$$\gamma_{TX} = \theta_{TX} = \frac{h_{RX} + h_{ARX} - h_{TX} + h_{ATX}}{d} - \frac{d}{2 \cdot R_{eq}},$$

где  $\theta_{TX}$  – угол места, полученный по формуле (2).

Если трасса между передатчиком и приемником помехи закрытая, то угол места антенны передатчика  $\gamma_{TX}$  равен углу места радиогоризонта передатчика:

$$\gamma_{TX} = \theta_{\max}, \text{ где } \theta_{\max} \text{ – угол места, полученный из (1)}$$

Затем рассчитывается разность углов места направления от передатчика на приемник помехи и ориентации антенны передатчика помехи  $\Delta\gamma_{TX}$ :  $\Delta\gamma_{TX} = \gamma_{TX} - \gamma_{TX0}$ .

### Методика расчета разностного угла

Рассчитывается истинный разностный угол  $\Delta$  между направлением от передатчика на приемник помехи и ориентации антенны передатчика помехи по методике [1]:

$$\Delta\Delta = \arccos \cos(\gamma_{TX0}) \cdot \cos(\gamma_{TX}) \cdot \cos(\alpha_{TX} - \alpha_{TX0}) + \sin(\gamma_{TX0}) \cdot \sin(\gamma_{TX}) ,$$

$$\Delta = \Delta\Delta , \text{ если } \Delta\alpha = 0^\circ \dots 180^\circ ,$$

$$\Delta = 360^\circ - \Delta\Delta , \text{ если } \Delta\alpha = 180^\circ \dots 360^\circ .$$

Для истинного разностного угла целесообразно применять точную формулу из [1], а не упрощенную из [2], поскольку последняя дает существенную ошибку при выходе/приходе помехи в задней полуплоскости диаграммы направленности антенны по отношению к ориентации антенны передатчика/приемника помехи.

Точная формула для разностного угла из [1]:

$$\Delta 1 = \arccos \cos(\gamma_{TX0}) \cdot \cos(\gamma_{TX}) \cdot \cos(\alpha_{TX} - \alpha_{TX0}) + \sin(\gamma_{TX}) .$$

Приближенная формула для разностного угла из [2]:

$$\Delta 2 = \arccos \cos(\gamma_{TX} - \gamma_{TX0}) \cdot \cos(\alpha_{TX} - \alpha_{TX0}) = \arccos \cos(\Delta\gamma_{TX}) \cdot \cos(\Delta\alpha_{TX}) .$$

При малом разностном угле:

$$\alpha_{TX0} = 0^\circ , \alpha_{TX} = 25^\circ , \gamma_{TX0} = -5^\circ , \gamma_{TX} = -3^\circ , \Delta 1 = 25,017^\circ , \Delta 2 = 25,075^\circ .$$

При большом разностном угле:

$$\alpha_{TX0} = 0^\circ , \alpha_{TX} = 180^\circ , \gamma_{TX0} = 3^\circ , \gamma_{TX} = -5^\circ , \Delta 1 = 180^\circ , \Delta 2 = 170^\circ .$$

График зависимости приведен на рисунке.

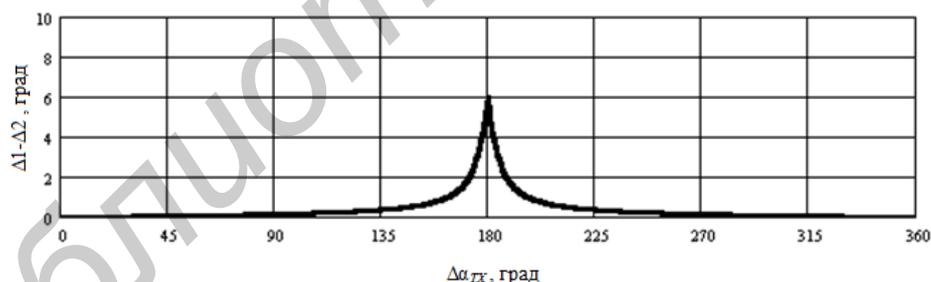


Рис. 3. Зависимость ошибки вычисления разностного угла при использовании приближенной формулы от ориентации антенны передатчика/приемника помехи.

### Заключение

В ходе работы была изложена методика расчета углов ориентации антенн передатчика и приемника помехи, а также разностного угла, получена зависимость ошибки его вычисления при использовании приближенной формулы расчета, из которой видно, что при приходе/выходе помехи в задней полуплоскости приближенная формула дает существенную ошибку.

# **CALCULATION METHODS OF ORIENTATION ANGLES OF TRANSMITTER AND NOISE RECEIVER ANTENNAS IN ANALYSIS OF ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY**

O.I. KOROLKOVA, V.M. KOZEL, K.L. GORBACHEV

## **Abstract**

The calculation methods of the orientation angles of the transmitter and the noise receiver antennas, and also calculation of the true incremental angle are explained, dependence of a computation error of the incremental angle values is received, when using the approximate calculation formula .

## **Список литературы**

1. Recommendation ITU-R P.452-11 «Prediction procedure for the evaluation of microwave interference between stations on the surface of the Earth at frequencies above about 0.7 GHz».
2. Agreement on the co-ordination of frequencies between 29.7 MHz and 39.5 GHz for the fixed service and the land mobile service. – Berlin, 14 September 2001.