

УДК 621.396.697

ДАЛЬНОСТЬ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ПО ВЫСОКОСКОРОСТНОМУ АВИАЦИОННОМУ РАДИОКАНАЛУ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОСТРОНАПРАВЛЕННЫХ АНТЕНН

А. Н. Детков, И. А. Макаров

ОАО «НПК НИИДАР» Россия, г. Москва

Статья получена 31 марта 2014 г.

Аннотация: В рамках задачи передачи данных по авиационному высокоскоростному радиоканалу получены расчётные формулы предельной дальности связи с учётом конечной ширины диаграммы направленности антенны (ДНА) наземного пункта приёма и углового размера препятствий на поверхности Земли, мешающих прямому распространению радиолуча.

Ключевые слова: высокоскоростной радиоканал, дальность связи, ширина диаграммы направленности антенны наземного пункта приёма.

Abstract: As part of the task of transferring data at high speed aviation radio formulas limited the range of communication are derived, taking into account the finite width of the antenna pattern (DNA) ground receiving station and the angular size of the obstacles on the Earth's surface, preventing the direct spread of the radio beam.

Keywords: High radio channel, communication range, antenna beam width of ground receiving station.

Введение

Дальность передачи данных по радиоканалу – это величина максимального расстояния, на котором возможно осуществление радиосвязи между приёмником и передатчиком с заданными параметрами качества [1].

На дальность радиосвязи воздействует сразу целый ряд внешних факторов. К этим факторам относятся различный рельеф местности, солнечная активность, создающая радиацию и соответственно помехи, атмосферные

явления типа высокой ионизации атмосферы, грозы, искривление поверхности земли, железобетонные здания [2, 3].

Для высокоскоростных авиационных каналов связи используется диапазон сантиметровых волн. В этом диапазоне дифракция (способность радиоволн огибать выпуклую поверхность Земли) выражена очень слабо [1, 2]. Поэтому радиоволны сантиметровых волн распространяются практически прямолинейно.

Дальность прямолинейного распространения радиоволн

Для определения дальности прямолинейного распространения радиоволн D_{pr} обычно используют уравнение, вытекающее из геометрии задачи с учётом сферичности Земли (рис. 1)

$$D_{pr} = \sqrt{(R + h_1)^2 - R^2} + \sqrt{(R + h_2)^2 - R^2} . \quad (1)$$

где h_1 – высота 1-й антенны, h_2 – высота 1-й антенны, $R \cong 6370$ км – радиус Земли. С учётом того, что $R \gg h_1, h_2$ уравнение (1) можно переписать в виде хорошо известной формулы:

$$D_{pr} = \sqrt{2R}(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}) \cong 3,57 \cdot 10^3 (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}) . \quad (2)$$

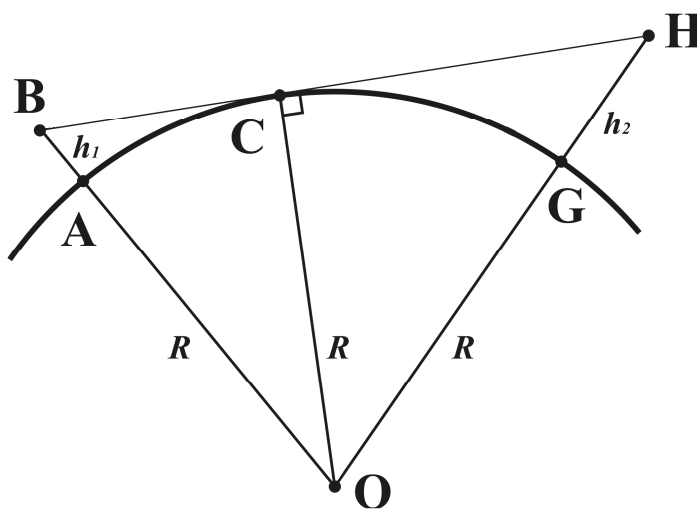


Рис. 1. Геометрия прямой видимости при распространении радиоволн между 1-й антенной, расположенной на высоте h_1 и 2-й антенной, расположенной на высоте h_2 , $AO=OC=OG=R$ – радиус Земли.

Однако при использовании в сантиметровом диапазоне радиоволн остронаправленных антенн необходимо учитывать не только высоты расположения фазовых центров антенн над поверхностью Земли, но и другие факторы, в частности, конечную ширину ДНА наземного пункта приёма в угломестной плоскости и предметы на поверхности Земли, мешающие прямому прохождению радиолучей.

Цель работы: определить предельную дальность передачи данных по авиационному высокоскоростному радиоканалу с учётом конечной ширины ДНА наземного пункта приёма и углов упреждения предметов, расположенных на поверхности Земли и мешающих прямому распространению радиолуча.

Дальность прямой видимости с учётом конечной ширины ДНА наземного приёмного пункта

Пусть $\angle KBH = 2\theta$ (рис. 2) – ширина ДНА наземного пункта в угломестной плоскости и угол $\angle KBH$ отсчитывается от касательной к поверхности Земли, тогда искомая дальность до фазового центра бортовой антенны (ФЦБА) складывается из двух дальностей

$$L = BD + DF, \quad (3)$$

где $BD = \frac{\sqrt{2Rh_1}}{\cos\theta} \cong \sqrt{2Rh_1}$ при $\theta \ll 1$. Дальность DF найдём из треугольника

$\triangle DFO$ с учётом того, что угол $\angle FDO = \pi/2 + \theta$ и $DC = \operatorname{tg}\theta \sqrt{2Rh_1} \cong \theta \sqrt{2Rh_1}$.

Используя теорему косинусов и то, что $h_1, h_2 \ll R$ и $\theta \ll 1$, имеем:

$$DF^2 + 2R\theta \cdot DF - 2R(h_2 - \theta \sqrt{2Rh_1}) = 0. \quad (4)$$

Решая квадратное уравнение (4) относительно DF , получаем:

$$DF = \theta R \left[1 + \sqrt{1 + \frac{2h_2}{\theta^2} - \frac{2\sqrt{2Rh_1}}{\theta R}} \right] = \beta \left[1 + \sqrt{1 + \frac{2R^2 h_2}{\beta^2} - \frac{2\gamma}{\beta}} \right], \quad (5)$$

где $\beta = \theta R$, $\gamma = \sqrt{2Rh_1}$.

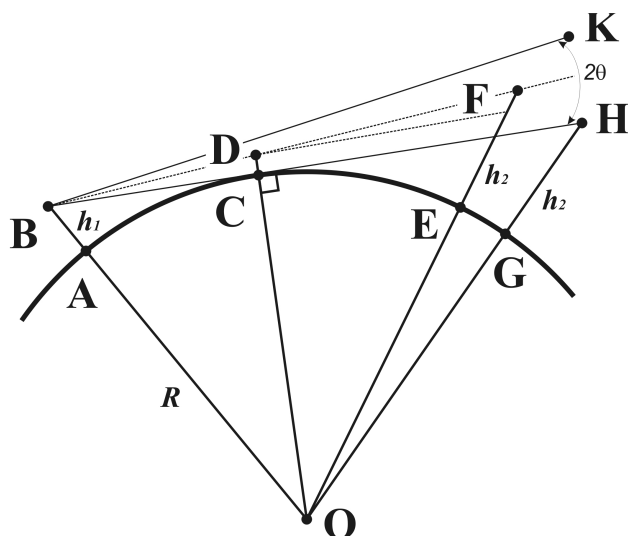


Рис. 2. Геометрия прямой радиовидимости с учётом конечной ширины ДНА наземного приёмного пункта.

Окончательно, с учётом (3), (5) дальность прямой видимости до ФЦБА L с учётом конечной ширины ДНА приёмного пункта определяется выражением

$$L = \gamma + \beta \left[1 + \sqrt{1 + \frac{2R^2 h_2}{\beta^2} - \frac{2\gamma}{\beta}} \right]. \quad (6)$$

При $\theta = 0$ из (6) следует, что $L \equiv D$, т.е. формула дальности радиосвязи (2) является частным случаем полученного выражения (6).

На рис. 3 показаны зависимости дальности прямой видимости ФЦБА от высоты h_2 его расположения над поверхностью Земли при различной ширине ДНА наземного пункта приёма 2θ .

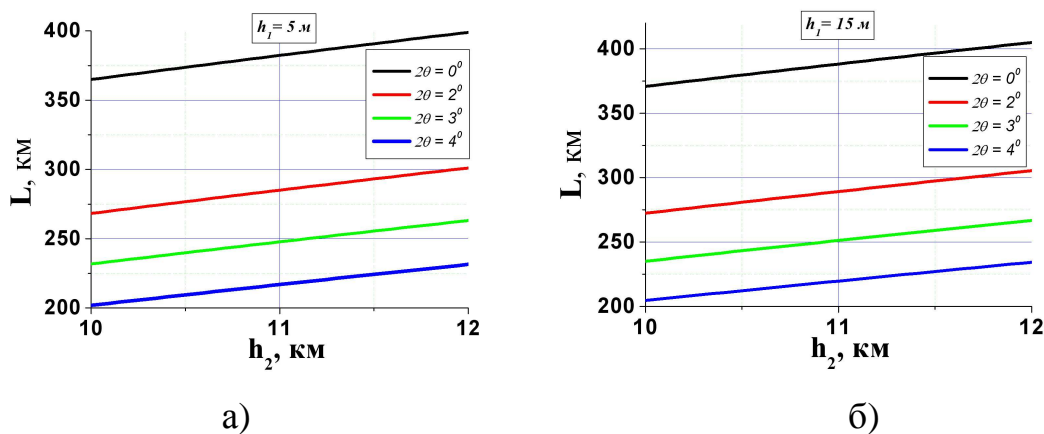


Рис. 3. Зависимость дальности прямой видимости от высоты h_2 расположения ФЦБА над поверхностью Земли при различных углах ДНА. Высота подъема антенны наземного пункта $h_1=5$ м (а), $h_1=15$ м (б).

Учёт неровностей рельефа и конечной ширины ДНА наземного приёмного пункта на дальность прямой видимости

Пусть 2θ – ширина ДНА наземного пункта в угломестной плоскости и угол аналогичный углу $\angle КВН$ (рис. 2) отсчитывается от касательной к препятствию максимальной высоты на поверхности Земли (рис. 4). Угловой размер препятствия $\Delta\theta$. Тогда угол θ_1 отсчитываемый от касательной к поверхности Земли складывается из двух углов

$$\theta_1 = \theta + \Delta\theta. \tag{7}$$

Используя результаты (3) – (6) дальность прямой видимости до ФЦБА L_1 с учётом конечной ширины ДНА приёмного пункта определяется выражением

$$L_1 = \gamma + \beta_1 \left[1 + \sqrt{1 + \frac{2R^2 h_2}{\beta_1^2} - \frac{2\gamma}{\beta_1}} \right]. \tag{8}$$

где $\beta_1 = (\theta + \Delta\theta)R$, $\gamma = \sqrt{2Rh_1}$.

При $\theta_1 = 0$ из (8) следует, что $L_1 \equiv D$, т.е. формула дальности радиосвязи (2) также является частным случаем полученного выражения (8).

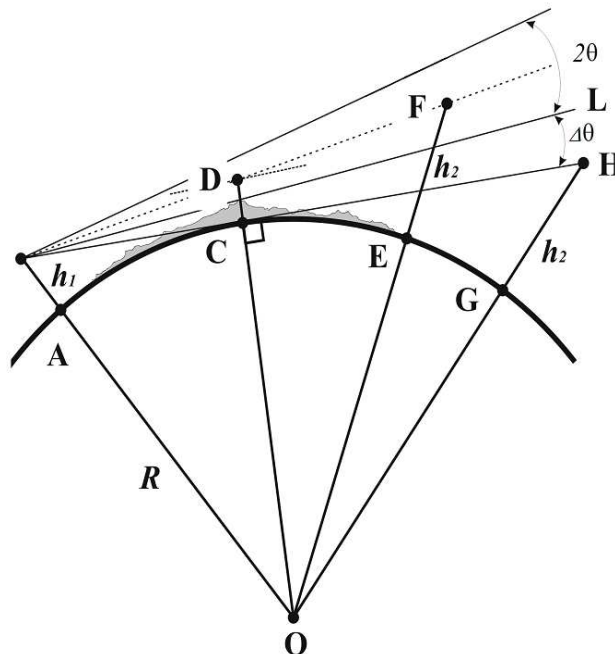


Рис. 4. Геометрия радиосвязи с учётом конечной ширины ДНА приёмного пункта и препятствия максимальной высоты на поверхности Земли.

Рис. 5, 6 иллюстрируют зависимости дальности прямой видимости ФЦБА от высоты h_2 его расположения над поверхностью Земли при различной ширине ДНА наземного пункта приёма 2θ и различного углового размера препятствия на поверхности Земли $\Delta\theta$.

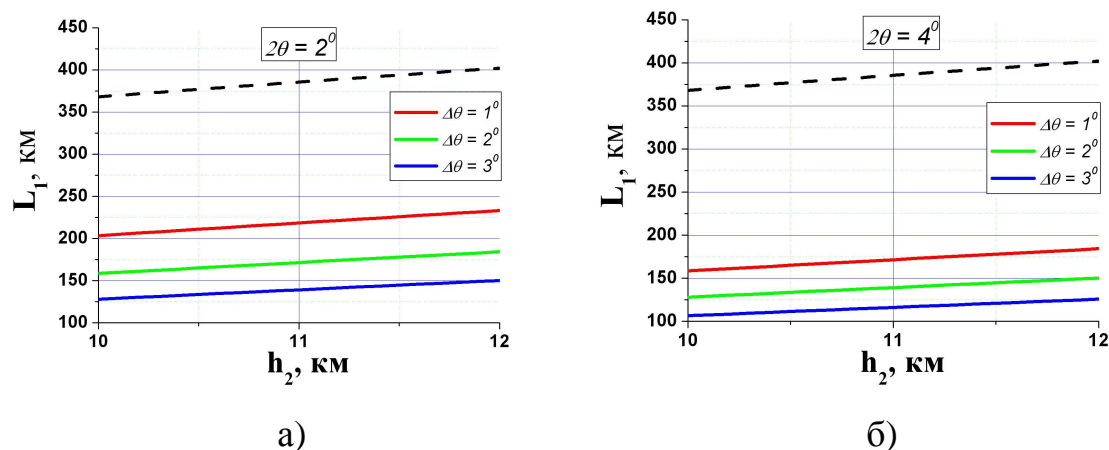


Рис. 5. Зависимость дальности L_1 обнаружения от высоты h_2 расположения антенны над поверхностью Земли при различных угловых размерах препятствия на поверхности Земли и ширины ДНА приёмного пункта: $2\theta=2^\circ$ (а), $2\theta=4^\circ$ (б). Штрих-пунктирная линия соответствует $2\theta+\Delta\theta = 0^\circ$. Высота подъема антенны наземного пункта $h_1=10$ м.

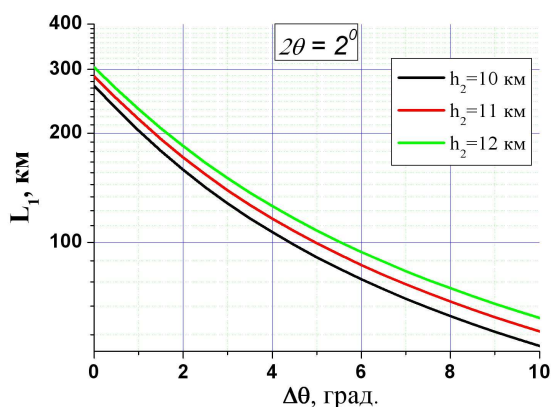


Рис. 6. Зависимость дальности прямой видимости L до ФЦБА от углового размера препятствия $\Delta\theta$ для различных высот носителя h_2 . Высота подъема антенны наземного пункта $h_1=10$ м. Ширина ДНА $2\theta=2^\circ$.

Заключение. При выполнении энергетических требований линии авиационной радиосвязи на максимальных дальностях на качество передачи данных с использование остронаправленных антенн, в первую очередь, влияют условия союстировки максимумов диаграмм направленности

бортовой антенны и антенны наземного пункта приёма, т.е. геометрии системы в целом. Учёт неровностей рельефа поверхности Земли и конечной ширины ДНА наземного пункта приёма позволяют уточнить дальность прямой видимости в различных конкретных случаях. Приведённые расчёты показывают, что реальная дальность прямой видимости с учётом вышеприведённых факторов в зависимости от конкретных параметров существенно в 1,3...2,8 раза меньше, чем дальность прямой видимости, рассчитанная по традиционной формуле (2).

Литература

1. Авиационные радиосвязные устройства / Под ред. В.И. Тихонова. – М.: ВВИА имени проф. Н.Е.Жуковского, 1986. – 444 с.
2. Долуханов М.П. Распространение радиоволн. – М.: Связь, 1972. – 336 с.
3. Детков А. Н., Жеребцов С. И., Кобузов А. Н., Макаров И. А. Наведение радиолуча на цель с учётом рефракции в атмосфере Земли // Журнал радиоэлектроники, 2013, № 10. – С. 1 – 12.