

## Задача выбора рационального диапазона рабочих частот для РЛС радиовидения космических аппаратов

77-30569/216417

# 10, октябрь 2011

Нефедов С. И.

УДК 621.396.96

НИИ РЭТ МГТУ им. Н.Э. Баумана  
[nefedov@bmstu.ru](mailto:nefedov@bmstu.ru)

Построение радиолокационных изображений космических аппаратов в настоящее время вызывает большой практический интерес. При этом решается не задача распознавания, а задача определения истинной геометрии объекта, его конфигурации, наличия не заявленного при запуске оборудования. Для выполнения анализа радиолокационного сигнала в течение достаточно большого времени, отводимого на сопровождение анализируемого объекта, разрабатываются специализированные радиолокационные станции построения радиоизображений космических аппаратов или, как их иногда называют, радиолокационные станции радиовидения [1-3]. Основным требованием к таким станциям является возможность получения изображения космического аппарата в качестве, близком к оптическому, и с пиксельным разрешением не хуже нескольких десятков сантиметров.

Радиолокационные системы построения радиоизображения существуют на сегодняшний день в крайне ограниченном числе экземпляров и создаются в основном в США. Другими странами, разрабатывающими данную технику, являются ФРГ и РФ. Характеристики станций, предназначенных непосредственно для решения задач радиовидения, представлены в таблице 1 на основании материалов, опубликованных в работах [1-3].

Важное место при построении рассматриваемых радиолокационных систем занимает диапазон рабочих частот. В данной работе анализируются особенности выбора рабочих частот для станций рассматриваемого класса.

Выбор диапазона рабочих частот в радиолокационных станциях радиовидения диктуется рядом взаимосвязанных факторов [4]. На первом месте в ряду этих факторов

находится затухание радиоволн в атмосфере. В интересующих нас диапазонах затухание радиоволн будет оказывать существенное влияние и требовать внимательного учета и анализа. Как известно, затухания радиоволн в атмосфере носят экстремальный характер. Минимумы зависимости поглощения от частоты называются окнами прозрачности. Именно в этих окнах и рекомендуется выбирать рабочие частоты радиолокационных станций. Зависимость коэффициента поглощения атмосферы от рабочей длины волны, взятая из [5], представлена на рис. 1.

Таблица 1

Характеристики радиолокационных станций радиовидения

Наименование	Страна	Диапазон	Полоса, МГц	Антенны	Состояние
TIRA	Германия	Ku	до 2 000	Зеркало, D = 32 м	Активная эксплуатация
Alcor	США	Ka	5	Зеркало, D = 14 м	-
Руза	СССР	Ka	100	ФАР, D = 7,2 м	Разобрана
Warlock	США	W	600	Зеркало, D = 2,5 м	Экспериментальная установка
HUSIR	США	W	8 000	Зеркало, D = 36 м	В стадии завершения
РЛС РВ МГТУ	РФ	Ka	10, 400, 1500	Зеркало, D = 7,5 м	В стадии завершения

Наиболее интересными из окон прозрачности, представленных на данном рисунке, с точки зрения диапазонов радиовидения будут длины волн 22 мм, 16 мм, 8 мм и 3 мм. Проанализируем характеристики радиолокационных станций с точки зрения потенциала и качества полученных изображений для выбранных диапазонов рабочих длин волн. Будем полагать, что размер апертуры антенной системы всех рассматриваемых систем будет одинаковым. Выберем его в качестве параметра.

Затухание будем определять исходя из условия выполнения лоцирования по наклонной трассе с нулевым азимутом. Точность определения угловых координат зафиксируем для всех диапазонов на уровне, определяемом половиной ширины диаграммы направленности некоторой гипотетической антенны на длине волны 3 мм. Качество изображения будем определять разрешающей способностью и контрастностью блестящей точки. Под контрастностью будем понимать динамический диапазон изображения, определяемый, в первую очередь, избыточным потенциалом для каждого отдельно разрешаемого элемента цели.

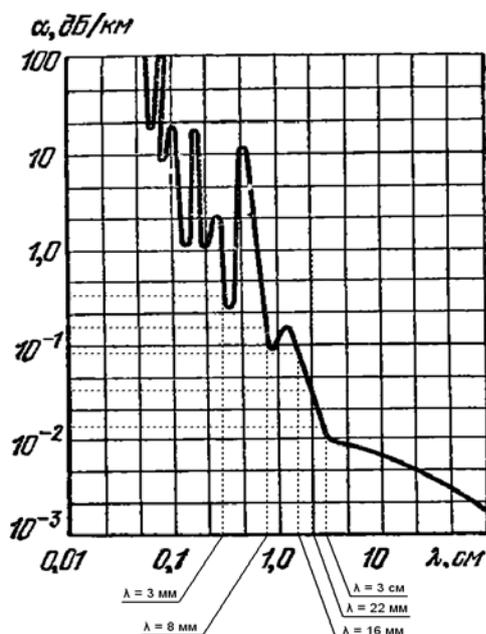


Рис. 1. Зависимость коэффициента затухания радиоволн от длины волны

Расчетные соотношения, необходимые для проведения сравнительных расчетов, будут определяться основным уравнением радиолокации и соотношениями, определяющими полное поглощение сигнала на трассе распространения. Будем считать, что полное затухание (ослабление) радиоволн на трассе будет определяться коэффициентом поглощения радиоволн  $k_1$  как

$$k_1 = 2 \cdot \alpha \cdot R, \quad (1)$$

где  $R$  - наклонная дальность, проходимая радиоволнами в поглощающей атмосфере при локации цели в одном направлении,

$\alpha$  - коэффициент поглощения, взятый в соответствии с зависимостью, представленной на рис. 1.

Для удобства получения сравнительной оценки точности углового положения объекта или блестящей точки изображения системами различных диапазонов введем безразмерный коэффициент  $k_2$ , определяемый как

$$k_2 = \frac{\lambda}{D \cdot \sigma}, \quad (2)$$

где  $\lambda$  - рабочая длина волны радиолокационной станции,

$D$  - диаметр раскрыва зеркальной антенной системы (апертура антенной системы),

$\sigma$  - точность определения параметров цели каналом, работающим на длине волны 3 мм, определяемая как

$$\sigma = 0.5 \cdot \frac{\lambda_3}{D}, \quad (3)$$

$\lambda_3 = 3$  мм (рабочая длина волны канала).

Физический смысл коэффициента  $k_2$  заключается в том, что он показывает, во сколько раз изменится точность определения углового положения цели по угловым координатам по отношению к длине волны 3 мм. Исходя из этого, становится понятным, во сколько раз необходимо изменить энергетический потенциал станции для выравнивания значений соответствующих оценок точностей.

Для определения энергетического выигрыша или проигрыша, связанного с коэффициентом усиления, введем безразмерный коэффициент  $k_3$ , определяемый как

$$k_3 = \frac{D^2}{\lambda^2}. \quad (4)$$

Физический смысл данный коэффициент приобретает при сравнении усиления в разных диапазонах при выполнении расчетов при фиксированном диаметре антенной системы.

Выполняя перемножение коэффициентов, определяемых выражениями (1), (2) и (4), можно получить эквивалентный приведенный энергетический потенциал станции на каждый из диапазонов с учетом особенностей трассы распространения.

Совершенно очевидно, что в отсутствии поглощения на трассе распространения энергетически более выгодным будет более коротковолновый диапазон. В данном случае наибольший выигрыш будет обеспечиваться при длине волны 3 мм. Соотношение энергетического проигрыша  $\Delta E$  относительно диапазона 3 мм показан на рис. 2а.

В то же время поглощение в атмосфере вносит существенные коррективы в итоговый энергетический потенциал станции. Выполненные расчеты показали, что существуют конусообразные сектора с осевой линией, направленной строго в зенит, относительно которых можно однозначно утверждать об эффективности того или иного диапазона. Иными словами, если локация цели осуществляется в пределах этого сектора и цель не выходит за его границы, то можно однозначно утверждать, что оптимальным будет являться именно этот диапазон.

Появление таких конусов связано с наличием сильных атмосферных затуханий, тем больших, чем короче рабочая длина волны станции (рис. 1). При этом длина трассы, явно влияющая на абсолютное значение коэффициента поглощения, определяемого по выражению (1), зависит от угла наклона конуса. Следовательно, поглощение тем выше, чем длиннее трасса, то есть шире рабочий сектор. Представленные на рис. 2б контрольные точки показывают критические значения углов, ограничивающих рабочий сектор. Так, для рабочей длины волны 3 мм сектор будет ограничиваться направляющей конуса, проведенной под углом места 56,4 градуса. Для рабочей длины волны 8 мм –

29,8 градуса, для диапазона 22 мм – 17 градусов. Длина волны 3 см позволяет работать на настильных линиях визирования.

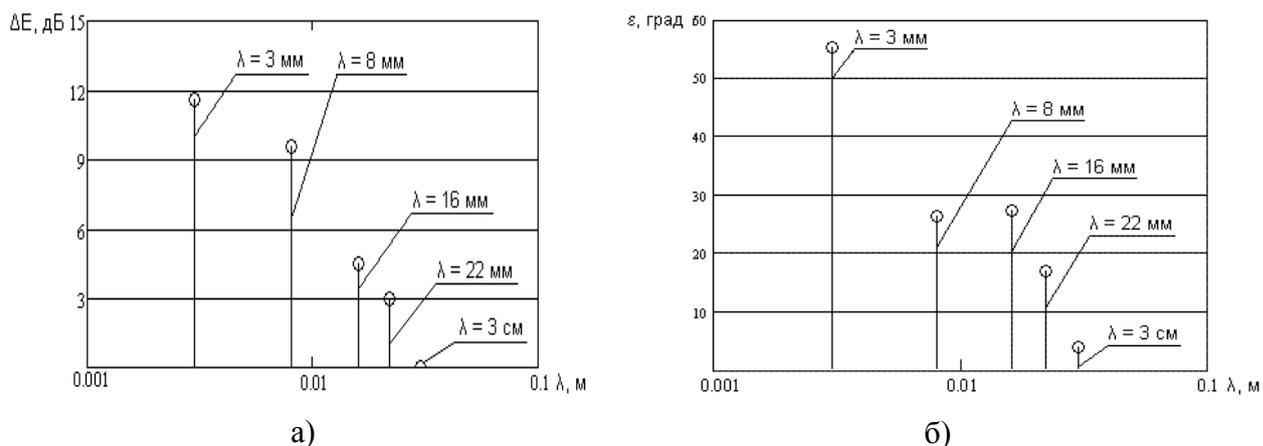


Рис. 2. Зависимости: а) энергетического выигрыша от длины волны и б) угла нулевого энергетического выигрыша от длины волны

Таким образом, наиболее интересным частотным диапазоном для получения радиоизображений космических аппаратов по всему комплексу параметров будет являться миллиметровый диапазон радиоволн. При этом потери энергии в атмосфере будут компенсироваться возрастающим качеством изображения. Именно эта тенденция прослеживается в настоящее время в проектируемых радиолокационных системах радиовидения. При этом условный оптимум с точки зрения качества получаемого изображения энергетического потенциала и допустимого значения рабочей азимутальной воронки будет иметь место на длине волны порядка 8 мм.

Список использованных источников:

1. Левитан Б.А., Толкачев А.А. Перспективы создания мощных радиолокационных станций миллиметрового диапазона длин волн. // Радиотехника. 2009. №10. С. 63-68.
2. Mehrholz D. Potentials and Limits of Space Object Observations and Data Analyses Using Radar Techniques. // ESA SD-01: Proc. First European Conference on Space Debris. Darmstadt. 1993.
3. Bensch J.U., Pensa A.F., Zuerndorfer B.W. The Haystack and Haystack Auxiliary Radars and their Role in Debris Environment Characterization. // ESA SD-01: Proc. First European Conference on Space Debris. Darmstadt. 1993.
4. Нефедов С.И. Выбор рационального диапазона рабочих частот для радиолокационной станции радиовидения космических аппаратов // Радиолокация,

навигация, связь: Труды XVII международной научно-технической конф. Воронеж. 2011.  
Т. 3. С. 1697 - 1701.

5. Теоретические основы радиолокации: учебное пособие для вузов /  
А.А. Коростелев [и др.]; Под ред. В.Е. Дулевича. М.: Сов. Радио, 1978. 608 с.

## **The problem of choice of efficient working frequency range for space vehicle imaging radar**

**77-30569/216417**

**# 10, October 2011**

**Nefedov S.I.**

Bauman Moscow State Technical University

[nefedov@bmstu.ru](mailto:nefedov@bmstu.ru)

The method of choice of efficient working frequency range for space vehicle imaging radar is discussed. Developed imaging radars are considered. Calculation relations of finding efficient working frequency based on criterion of equal potential are developed. The result is that frequency range 8 mm is best suited for solution of the this problem.

---

**Publications with keywords:** [radar](#), [imaging](#), [frequency range](#), [space vehicle](#)

**Publications with words:** [radar](#), [imaging](#), [frequency range](#), [space vehicle](#)

---

### Reference:

1. B.A. Levitan, A.A. Tolkachev, Radiotekhnika 10 (2009) 63-68.
2. D. Mehrholz, Potentials and Limits of Space Object Observations and Data Analyses Using Radar Techniques, in: Proc. First European Conference on Space Debris (ESA SD-01), Darmstadt, 1993.
3. J.U. Bensch, A.F. Pensa, B.W. Zuerndorfer, The Haystack and Haystack Auxiliary Radars and their Role in Debris Environment Characterization, in: Proc. First European Conference on Space Debris (ESA SD-01), Darmstadt, 1993.
4. S.I. Nefedov, in: Proceedings of XVII international scientific and technical conference on Radiolocation, Navigation and Communication, Voronezh, Vol.3, 2011, pp. 1697-1701.
5. A.A. Korostelev, et al., V.E. Dulevich (Ed.), Theoretical bases of a radiolocation, Sov. Radio, Moscow, 1978, 608 p.