

РЕКОМЕНДАЦИЯ МСЭ-R М.1642-1

Методика оценки максимальной суммарной эквивалентной плотности потока мощности на станции воздушной радионавигационной службы от всех систем радионавигационной спутниковой службы, работающих в полосе частот 1164–1215 МГц

(2003–2005)

Сфера применения

В настоящей Рекомендации приводится методика и даны характеристики эталонной антенны для оценки уровня максимальной суммарной эквивалентной плотности потока мощности (э.п.п.м.), производимой на входе станции воздушной радионавигационной службы (ВРНС) всеми системами радионавигационной спутниковой службы (РНСС), работающими в любой части полосы частот 1164–1215 МГц.

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

учитывая,

а) что в соответствии с Регламентом радиосвязи (РР) полоса частот 960–1215 МГц распределена на первичной основе воздушной радионавигационной службе (ВРНС) во всех Районах МСЭ;

б) что расчеты показывают, что сигналы РНСС в полосе частот 1164–1215 МГц могут быть рассчитаны таким образом, чтобы не причинять помехи оборудованию измерения расстояний (DME)/приемникам ВРНС тактической аэронавигационной системы (ТАСАН), действующим в этой полосе частот;

с) что разработан критерий защиты для ВРНС, выраженный в понятиях эквивалентной плотности потока мощности (э.п.п.м.), который содержится в Рекомендации МСЭ-R М.1639,

признавая,

а) что ВКР-2000 ввела распределение на равной первичной основе для РНСС в полосе частот 1164–1215 МГц, при соблюдении условий, что от РНСС требуется защищать ВРНС от вредных помех;

б) что ВКР-03 определила, что защита ВРНС от РНСС может обеспечиваться, если значение э.п.п.м. от всех космических станций всех систем РНСС (космос-Земля) в полосе частот 1164–1215 МГц не будет превышать уровня $-121,5$ дБ/(Вт/м²) в любой полосе частот 1 МГц, и приняла Резолюцию 609 (ВКР-03), для того чтобы этот уровень не превышался;

с) что ВРНС в соответствии с п. 1.59 РР является службой безопасности и в соответствии с п. 4.10 РР администрациям необходимо принять особые меры для защиты этих служб,

рекомендует

1 использовать методику, содержащуюся в Приложении 1, и характеристики эталонной ВРНС, содержащиеся в Приложении 2, для расчета максимальной суммарной э.п.п.м., производимой излучениями всех систем РНСС на любой воздушной радионавигационной станции.

Приложение 1

Методика оценки максимальной суммарной э.п.п.м. на станции ВРНС от всех систем РНСС, работающих в полосе частот 1164–1215 МГц

Краткое описание метода

С использованием описанного в данном Приложении метода можно рассчитать уровень максимальной суммарной э.п.п.м. от всех систем РНСС в полосе частот 1164–1215 МГц.

Этот метод позволяет легко комбинировать различные системы, с тем чтобы в ходе консультативного собрания можно было изучить воздействие изменений, например включение или исключение одной или многих систем, или воздействие изменения характеристик конкретных систем.

Этот метод охватывает как системы НГСО с группировками спутников на любых орбитах любого наклона, так и системы ГСО.

Этот метод основан на процессе, включающем два этапа:

Этап 1: Расчет э.п.п.м. каждой отдельной системы РНСС. Этот этап может осуществляться независимо каждым оператором до консультативного собрания, при условии что результаты представляются в совместимом формате (см. п. 1.3 для систем НГСО и п. 1.4 для систем ГСО).

Этап 2: Объединение максимальной э.п.п.м. отдельных систем путем наложения карт, при необходимости на различных частотах, для получения значения максимальной суммарной э.п.п.м. (см. п. 2) в полосе частот 1164–1215 МГц.

Описание метода

1 Метод расчета максимальной э.п.п.м. от спутников одной системы РНСС

1.1 Определение э.п.п.м.

Определение эквивалентной плотности потока мощности (э.п.п.м.) основано на п. 22.5С.1 РР, принятого на ВКР-2000.

Если антенна принимает мощность в пределах ее эталонной ширины полосы одновременно от передающих станций на различных расстояниях, в различных направлениях и с различными уровнями падающей п.п.м., то э.п.п.м. – это п.п.м., которая при получении от одного передатчика в дальней зоне антенны в направлении максимального усиления произведет такую же мощность на входе приемника, как и фактически получаемую от всех различных передатчиков.

Мгновенная э.п.п.м. вычисляется по следующей формуле:

$$epfd = 10 \log_{10} \left[\sum_{i=1}^{N_a} 10^{\frac{P_i}{10}} \cdot \frac{G_t(\theta_i)}{4\pi d_i^2} \cdot \frac{G_r(\varphi_i)}{G_{r, max}} \right],$$

где:

- N_a : число космических станций, видимых с приемной станции
- i : показатель рассматриваемой космической станции

- P_i : РЧ мощность (в эталонной ширине полосы) на входе антенны (или РЧ излучаемая мощность в случае активной антенны) передающей космической станции (дБ(Вт/МГц))
- θ_i : внеосевой угол (в градусах) между направлением прицеливания передающей космической станции и направлением приемной станции
- $G_r(\theta_i)$: усиление (как отношение) передающей антенны космической станции в направлении приемной станции
- d_i : расстояние (в метрах) между передающей станцией и приемной станцией
- ϕ_i : внеосевой угол (в градусах) между направлением наведения приемной станции и направлением передающей станции
- $G_r(\phi_i)$: усиление (как отношение) приемной антенны приемной станции в направлении передающей космической станции (см. Приложение 2)
- $G_{r, max}$: максимальное усиление (как отношение) приемной станции
- э.п.п.м.*: мгновенная эквивалентная плотность потока мощности (дБ/(Вт/(м² · МГц))) на приемной станции.

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Предполагается, что каждая приемная станция расположена в дальней зоне приемной станции (т. е. на расстоянии более $2D^2/\lambda$, где D – эффективный диаметр приемной антенны, а λ – наблюдаемая длина волны в том же устройстве). В рассматриваемом случае это требование всегда будет удовлетворено.

1.2 Общие соображения

На первом этапе рассматриваемого метода максимальная *э.п.п.м.* для каждой группировки спутников РНСС рассчитывается на каждой высоте и долготе по всей поверхности Земли для каждого 1 МГц спектра, занимаемого данной системой.

Поскольку затронутая приемная станция ВРНС может быть установлена на воздушном судне, летающем на высоте до 40 000 футов (12 192 м) (см. п. 2 Приложения 2), в расчеты должны быть включены все спутники с углами места от 90° до –3,54°.

Расчет распределения *э.п.п.м.* каждой системы необходим только на одной эталонной частоте, предпочтительно на частоте, на которой мощность сигнала максимальна. Спектральная форма сигнала РНСС должна быть представлена консультативному собранию, с тем чтобы результаты расчетов можно было бы затем умножить на соответствующие коэффициенты спектральной формы для получения результатов на любой другой частоте.

1.3 Метод расчета максимума *э.п.п.м.* для систем НГСО РНСС

Для выполнения этого расчета может быть использована приведенная в Дополнении 1 к Приложению 1 методика моделирования, которая полностью основана на Рекомендации МСЭ-R S.1325.

Методика, приведенная в Дополнении 2 к Приложению 1, полностью основана на аналитическом методе. Метод может использоваться для получения оперативных оценок, но не дает точного максимального результата.

1.4 Метод расчета максимальной *э.п.п.м.* для систем ГСО РНСС

Требуется рассчитать максимальную *э.п.п.м.* для каждого спутника ГСО на каждой широте и долготе по всей поверхности Земли для каждого 1 МГц спектра, занимаемого системой.

В этом случае *э.п.п.м.* не будет зависеть от времени, поэтому непосредственно может быть рассчитана одна таблица с результатами.

2 Метод расчета максимальной суммарной э.п.п.м. от всех систем РНСС

2.1 Данные, требуемые для каждой системы

Каждая система НГСО РНСС, не имеющая геостационарного периода, проведет в соответствии с методикой п. 1.3 согласование со списком максимальной э.п.п.м. в зависимости от широты (применимой ко всем долготам) и спектральной формы сигнала.

Каждая система НГСО РНСС, имеющая геостационарный период, проведет в соответствии с методикой п. 1.3 согласование со списком максимальной э.п.п.м. в зависимости от широты и долготы и спектральной формы сигнала.

Каждая система ГСО РНСС проведет в соответствии с методикой п. 1.4 согласование с таблицей максимальной э.п.п.м. в зависимости от широты и долготы и спектральной формы сигнала.

2.2 Объединение э.п.п.м. систем с аналогичными характеристиками сигнала

Определение суммарной э.п.п.м. систем РНСС с одинаковой частотой максимального сигнала в спектре может быть осуществлено в три этапа:

Этап 1а: поточечное суммирование максимальных э.п.п.м. на участке полосы шириной 1 МГц, в которой сигнал имеет максимальную мощность на каждой широте всех НГСО (не имеющих геостационарного периода) списков для получения списка НГСО (не имеющей геостационарного периода) суммарной э.п.п.м. в зависимости от широты;

Этап 1б: поточечное суммирование максимальных э.п.п.м. на участке полосы шириной 1 МГц, в которой сигнал имеет максимальную мощность на каждой широте и долготе всех НГСО (имеющих геостационарный период) списков для получения списка НГСО (имеющей геостационарный период) суммарной э.п.п.м. в зависимости от широты и долготы;

Этап 2: поточечное суммирование максимальных э.п.п.м. на участке полосы шириной 1 МГц, в которой сигнал имеет максимальную мощность в каждой точке широты и долготы всех ГСО таблиц для получения таблицы ГСО суммарной э.п.п.м. в зависимости от широты и долготы;

Этап 3: поточечное суммирование списка НГСО (не имеющей геостационарного периода) суммарной э.п.п.м. в зависимости от широты и списка НГСО (имеющей геостационарный период) суммарной э.п.п.м. в зависимости от широты и долготы с каждой колонкой долготы таблицы ГСО суммарной э.п.п.м. в зависимости от широты и долготы для получения полной таблицы суммарной э.п.п.м. в зависимости от широты и долготы.

Рассмотрение самой высокой э.п.п.м. в этой таблице покажет, соблюдается ли критерий защиты Рекомендации МСЭ-R М.1639 на любом участке полосы шириной 1 МГц.

2.3 Объединение э.п.п.м. систем с различными характеристиками сигнала

Следует отметить, что максимальная суммарная э.п.п.м. зависит от частоты. Если спектры рассматриваемых систем РНСС имеют максимумы на одной и той же частоте, будет достаточно провести один анализ. Однако если различные системы имеют разные максимумы, поскольку они используют либо различные центральные частоты с перекрывающимися спектрами, либо различные методы модуляции, то тогда в анализе максимальной суммарной э.п.п.м. потребуется учитывать частоту.

Определение максимальной суммарной э.п.п.м. систем РНСС с различными центральными частотами потребует, как минимум, выполнения упомянутых выше трех этапов на каждой частоте, на которой каждая система имеет свой максимальный сигнал в спектре, и может потребовать также анализа промежуточных частот.

Для каждой частоты каждый список или таблица будут факторизованы до суммирования с другими списками или таблицами путем использования соответствующего коэффициента спектральной формы.

Рассмотрение самой высокой э.п.п.м. во всех результирующих таблицах покажет, соблюдается ли критерий защиты Рекомендации МСЭ-R М.1639 на любом участке полосы шириной 1 МГц.

2.4 Проверка результатов

Исходя из определения максимальной суммарной э.п.п.м., для подтверждения результатов, полученных с использованием Дополнения 1 или 2 к Приложению 1, может быть рассмотрено однократное одновременное моделирование всех систем РНСС в месте размещения станции ВРНС, в котором определялась абсолютная максимальная суммарная э.п.п.м.

Дополнение 1 к Приложению 1

Методика моделирования для определения максимальной э.п.п.м. для системы НГСО РНСС

1 Описание метода и подхода к моделированию

Основой этой методологии, базирующейся на Рекомендации МСЭ-R S.1325, является моделирование всех спутников системы РНСС на конкретной эталонной частоте (обычно части полосы 1164–1215 МГц шириной 1 МГц с максимальной спектральной плотностью сигнала РНСС). Моделирование группировки проводится выборочно за период времени на относительно низкой скорости. В каждой выборке э.п.п.м. рассчитывается для всех точек широты и долготы. Для каждой точки широты и долготы регистрируется максимальная выборка. Другие выборки могут быть исключены. Результатом является таблица, которая, как поясняют рисунки 5 и 6, может быть изображена в виде карты. Исходя из этого, для каждой широты должна определяться максимальная э.п.п.м., которая устранил приближения из-за ограниченного времени моделирования.

2 Допущения, принятые при моделировании

2.1 Модель орбиты

В качестве моделей орбит для моделирования космических станций на своих орбитах учитывались только круговые и эллиптические орбиты для прецессии линии узлов в экваториальной плоскости ввиду несферичности Земли.

Модель орбиты представляет собой движение спутника по геоцентрической инерционной системе координат, показанной на рисунке 1. Началом этой инерционной системы является центр Земли. Ось X указывает на первую точку в созвездии Овена (т. е. точку весеннего равноденствия), ось Z является средней осью вращения Земли, а ось Y определяется как векторное произведение единичных векторов в направлении z и x , т. е. $\vec{y} = \vec{z} \times \vec{x}$.

Орбитальные модели основаны на уравнении движения Ньютона для спутника, вращающегося по орбитам идеально сферической Земли, представляющим собой окружность и эллипс. С целью упрощения моделирования движения системы НГСО на круговой орбите характеристики этого движения таковы, что орбитальный радиус и скорость спутника постоянны.

2.1.1 Константы, относящиеся к Земле

Общими константами для Земли являются:

- R_e : радиус Земли (6378 км)
- O : центр Земли
- μ : постоянная притяжения Земли ($3,986 \times 10^5 \text{ км}^3/\text{с}^2$)
- J_2 : константа второй гармоники потенциала Земли ($1082,6 \times 10^{-6}$)
- T_e : период вращения Земли (23 час. 56 мин. 04 с = 86 164 с)
- Ω_e : угловая скорость вращения Земли = $2\pi/T_e \cong 7,29 \times 10^{-5}$ рад/с
- t : время, прошедшее после начала моделирования (с).

2.1.2 Константы, относящиеся к космическим станциям спутниковых систем НГСО

Для космических станций спутниковых систем НГСО на круговых орбитах (см. рисунок 1) используются следующие константы:

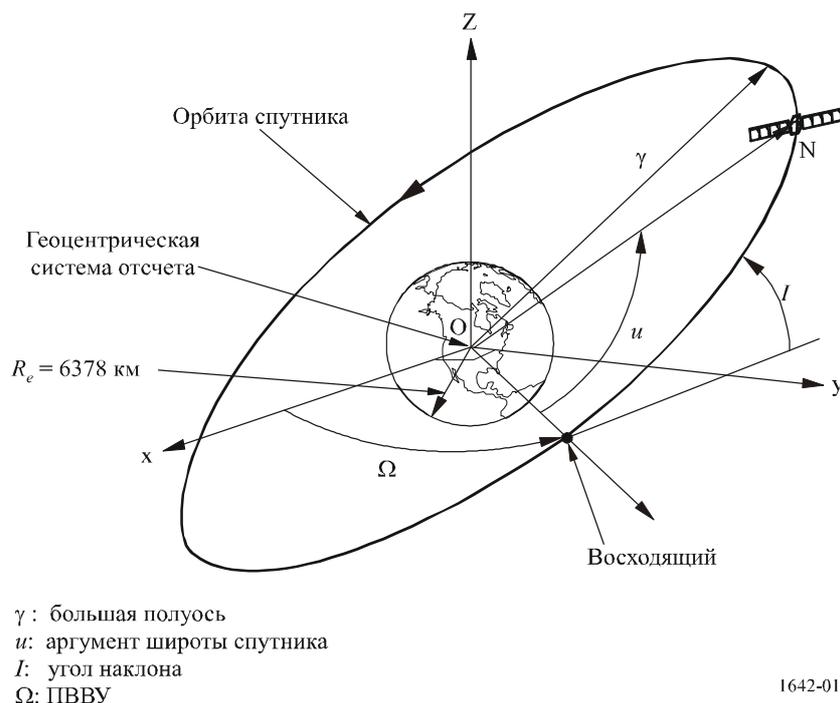
- N : число космических станций системы НГСО
- i : показатель для каждого из спутников НГСО ($0 \leq i < N$)
- h_{sat} : высота спутника над Землей (км)
- r : радиус орбиты спутника (км) = $h_{sat} + R_e$
- I : угол наклона орбитальной плоскости над экватором (рад)
- ПВВУ: прямое восхождение восходящего узла
- $\Omega_{i,0}$: ПВВУ i -го спутника НГСО в момент времени t (рад)
- $u_{i,0}$: аргумент широты i -го спутника НГСО в момент времени t (рад)
- T : период орбиты спутника (с) = $2\pi (r^3/\mu)^{1/2}$
- n : средняя угловая скорость спутника (рад/с) = $2\pi/T$
- $u_{i,t}$: аргумент широты i -го спутника в момент времени t (рад) = $u_{i,0} + n_t$
- Ω_r : обратное движение узлов восходящего узла (рад/с)

$$= -\frac{3}{2} J_2 \cos(I) R_e^2 \frac{\sqrt{r\mu}}{r^4}$$
- $\Omega_{i,t}$: ПВВУ i -го спутника НГСО в момент времени t (рад) = $\Omega_{i,0} + \Omega_r t$
- \vec{ON}_i : координатный вектор (инерционная система координат) спутника НГСО в геоцентрической фиксированной системе координат:

$$\vec{ON}_i = \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \end{bmatrix} = r \begin{bmatrix} \cos(u_{i,t}) \cdot \cos(\Omega_{i,t}) - \cos(I) \cdot \sin(u_{i,t}) \cdot \sin(\Omega_{i,t}) \\ \cos(u_{i,t}) \cdot \sin(\Omega_{i,t}) + \cos(I) \cdot \sin(u_{i,t}) \cdot \cos(\Omega_{i,t}) \\ \sin(u_{i,t}) \cdot \sin(I) \end{bmatrix}.$$

РИСУНОК 1

Геометрия круговой орбиты



1642-01

Для космических станций спутниковых систем НГСО, использующих эллиптические орбиты (см. рисунки 2 и 3), используются следующие константы:

- N : число космических станций системы НГСО
 i : показатель для каждого из спутников НГСО ($0 \leq i < N$)
 a_i : большая полуось i -го спутника (км)
 e_i : эксцентриситет i -го спутника
 $M_{i,0}$: средняя аномалия i -го спутника НГСО в начальный момент времени (рад)
 T_i : период орбиты спутника i -го спутника (с) $= 2\pi(a_i^3 / \mu)^{1/2}$
 n_i : средняя угловая скорость i -го спутника (рад/с) $= 2\pi/T_i$
 $v_{i,t}$: истинная аномалия i -го спутника в момент времени $t = 2 \cdot \tan^{-1} \left[\frac{\sqrt{1+e_i} \tan \frac{E_{i,t}}{2}}{\sqrt{1-e_i}} \right]$
 $E_{i,t}$: эксцентрисическая аномалия i -го спутника в момент времени $t = 2 \cdot \tan^{-1} \left[\frac{\sqrt{1-e_i} \tan \left(\frac{v_{i,t}}{2} \right)}{\sqrt{1+e_i}} \right]$
 $M_{i,t}$: средняя аномалия i -го спутника в момент времени $t = M_{i,0} + n_i \cdot t = E_{i,t} - e_i \cdot \sin E_{i,t}$ *

* Если дана $M_{i,t}$, то $E_{i,t}$ определяется путем итерации. Обычно для коротких временных шагов $E_{i,t}$ может использоваться в качестве первоначальной оценки.

I_i : угол наклона орбитальной плоскости над экватором i -го спутника (рад)

ПВВУ: прямое восхождение восходящего узла

$\Omega_{i,0}$: ПВВУ каждого из i -х спутников НГСО в начальный момент времени (рад)

$\omega_{i,0}$: аргумент перигея каждого из i -х спутников НГСО в начальный момент времени (рад)

$u_{i,t}$: аргумент широты i -го спутника в момент времени t (рад) = $\omega_{i,0} + v_{i,t}$

Ω_{ri} : обратное движение узлов восходящего узла i -го спутника (рад/с)

$$= -\frac{3}{2} J_2 \cos(I_i) R_e^2 \frac{\sqrt{a_i \mu}}{a_i^4 (1-e_i^2)^2}$$

$\Omega_{i,t}$: ПВВУ i -го спутника в момент времени t (рад) = $\Omega_{i,0} + \Omega_{ri}t$

$\vec{ON}_{i,t}$: координатный вектор (инерционная система координат) i -го спутника НГСО в геоцентрической фиксированной системе координат в момент времени t :

$$\vec{ON}_{i,t} = \text{rot3}(-\Omega_{i,t}) \cdot \text{rot1}(-I_i) \cdot \text{rot3}(-\omega_{i,0}) \cdot \vec{r}_{i,t}$$

$\text{rot1}(\alpha)$: вращение вокруг оси X

$$\text{rot1}(\alpha) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & \sin \alpha \\ 0 & -\sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix}$$

$\text{rot3}(\alpha)$: вращение вокруг оси Z

$$\text{rot3}(\alpha) = \begin{bmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha & 0 \\ -\sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\vec{r}_{i,t} : \vec{r}_{i,t} = r_{i,t} \begin{bmatrix} \cos v_{i,t} \\ \sin v_{i,t} \\ 0 \end{bmatrix} = \frac{a(1-e^2)}{1+e_i \cdot \cos v_{i,t}} \cdot \begin{bmatrix} \cos v_{i,t} \\ \sin v_{i,t} \\ 0 \end{bmatrix}.$$

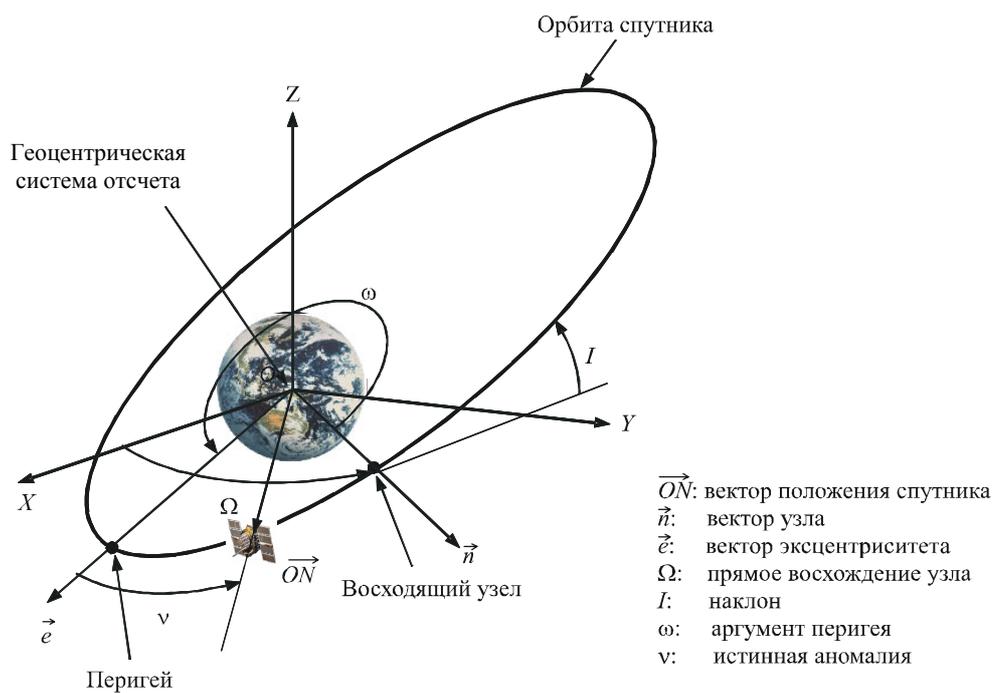
РИСУНОК 2

Геометрия эллиптической орбиты в фокальной плоскости



РИСУНОК 3

Геометрия эллиптической орбиты в геоцентрической инерционной системе координат



Возмущение НГСО может быть принято во внимание в расчете относящихся к группировке констант, поскольку положение спутников может изменяться при учете возмущения.

2.1.3 Константы, относящиеся к станции ВРНС

- Lat: широта станции ВРНС (рад)
 Lon: долгота станции ВРНС (рад)
 h_{ARNS} : высота станции ВРНС (км)
 \vec{OM} : координаты станции ВРНС в геоцентрической инерционной системе координат

$$\vec{OM} = \begin{cases} X = (R_e + h_{ARNS}) \cos(\text{Lat}) \cos(\text{Lon} + \Omega_e t) \\ Y = (R_e + h_{ARNS}) \cos(\text{Lat}) \sin(\text{Lon} + \Omega_e t) \\ Z = (R_e + h_{ARNS}) \sin(\text{Lat}) \end{cases}$$

2.2 Параметры антенны

2.2.1 Параметры антенны станции РНСС

Диаграмма направленности антенны для станции РНСС является входным параметром для моделирования (см. Приложение 2).

2.2.2 Параметры антенны космической станции НГСО

В целях проведения анализа помех антенны спутников НГСО должны моделироваться с использованием любой из следующих диаграмм направленности в зависимости от того, какая из них имеется в наличии:

- измеренных диаграмм направленности;
- предлагаемых эталонных диаграмм направленности;
- аналитической функции, которая моделирует диаграмму направленности излучения антенны спутника НГСО.

2.3 Расчет времени моделирования

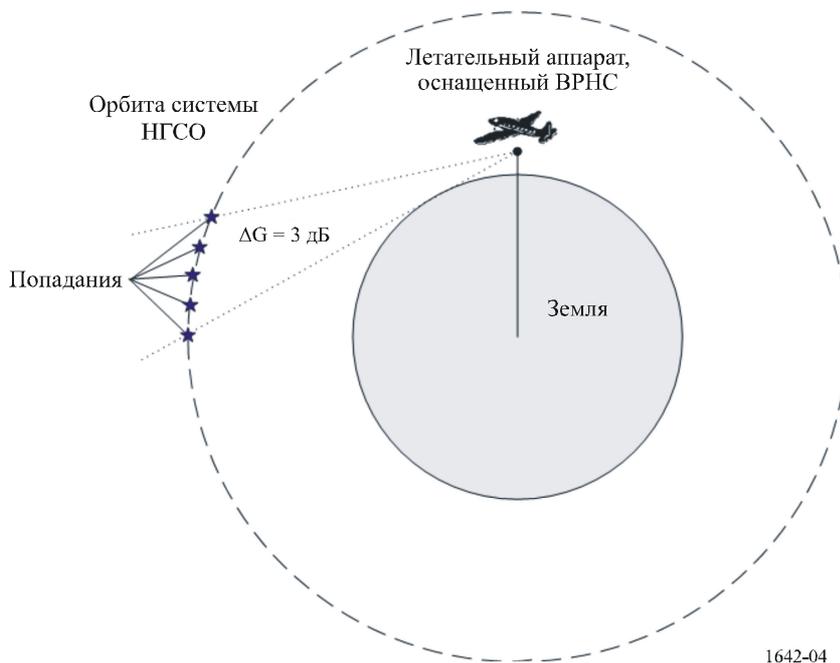
2.3.1 Приращение времени моделирования

Для получения точных результатов приращение времени моделирования t_{inc} должно быть как можно более коротким, но, с другой стороны, общее время моделирования должно быть обоснованным. Для достижения требуемой точности необходимо обеспечить достаточное число измерений э.п.п.м. (N_{hits}) при попадании космического аппарата в максимум усиления диаграммы направленности антенны ВРНС, видимого космической станцией. $N_{hits} = 5$ может рассматриваться как достаточное число.

Максимальное усиление, видимое космической станцией, имеет место при углах места от $-3,54^\circ$ до $+3^\circ$ (Приложение 2) для летательного аппарата, находящегося на высоте 40 000 футов (12 192 м). Необходимо иметь 5 N_{hits} в пределах этого диапазона, подразумевая, что приращение моделирования в 1° движения группировки является достаточным.

РИСУНОК 4

Учет приращения времени моделирования



2.3.2 Общее время моделирования

Спутник группировки НГСО, находящийся на любой орбите, описывает путь на поверхности Земли. За определенное для системы время тот или иной спутник группировки возвращается в ту же или практически ту же точку. Время между этими двумя случаями является периодом повторения группировки. Периоды повторения различных группировок делятся от нескольких дней до нескольких месяцев. Типичные результаты расчета э.п.п.м. системы РНСС за один период повторения показаны на рисунке 5.

На точную скорость прецессии долготы спутников в группировке НГСО будут оказывать влияние дрейфы, вызванные ошибками удержания станции по долготе. Это явление можно моделировать и включить в процесс моделирования.

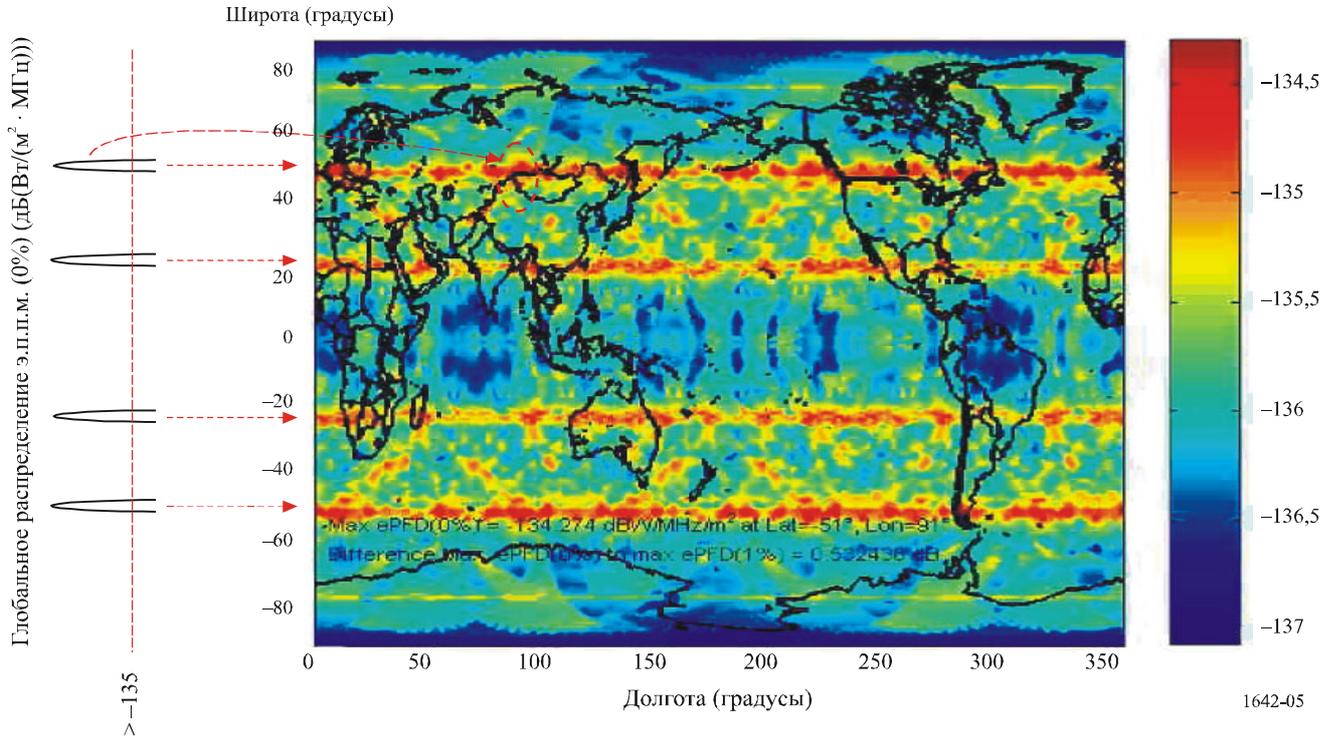
Для системы НГСО, не имеющей геостационарного периода, упомянутое выше явление приведет к максимальной э.п.п.м. на любой долготе, которая, в действительности, превратится в максимальную э.п.п.м. на всех долготах. (Другими словами, если распространить моделирование на все возможные состояния группировки, то "выделяющиеся места" максимальной э.п.п.м. на карте, показанной на рисунке 5, будут распределяться горизонтально и превратятся в однородные горизонтальные полосы.) Поэтому считается более правильным брать для каждой широты максимальную э.п.п.м. на любой долготе и использовать ее для всех долгот. Это преобразует таблицу максимальной э.п.п.м. в зависимости от широты и долготы в простой список максимальной э.п.п.м. в зависимости от широты.

Если это сделано, то тогда время моделирования можно было бы уменьшить до одного орбитального периода для системы НГСО, не имеющей геостационарного периода. На "карте", полученной в результате такого ограниченного моделирования, будут показаны только несколько "выделяющихся мест", однако на каждой широте величина "выделяющихся мест", представляющих максимальную э.п.п.м. на каждой долготе, будет той же самой.

Как побочный результат, объем информации, который должен быть представлен для согласования, будет существенно сокращен.

РИСУНОК 5

Пример глобального распределения максимальной э.п.п.м.

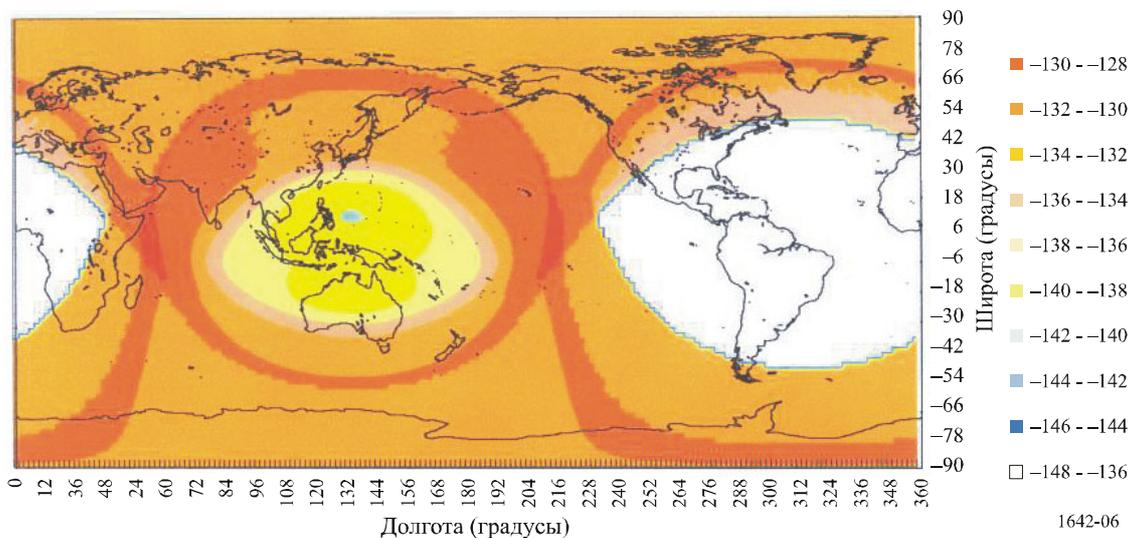


С другой стороны, системы НГСО, имеющие геосинхронный период, оставляют наземные следы орбиты, которые заключены в пределы ограниченного диапазона долгот на поверхности Земли. Это приведет к появлению "выделяющихся мест" максимальной э.п.п.м. только в пределах ограниченной области на поверхности Земли. (Другими словами, "выделяющиеся места" максимальной э.п.п.м. на поверхности Земли не будут распространяться горизонтально.) Поэтому суммарная э.п.п.м. от систем НГСО, имеющих геостационарный период, должна рассчитываться для точек широты и долготы в пределах диапазона видимости с НГСО.

В этом случае системы НГСО, имеющей геостационарный период, расчет может быть выполнен с учетом одного орбитального периода. Типичные результаты расчета э.п.п.м. для системы НГСО, имеющей геостационарный период, показаны на рисунке 6.

РИСУНОК 6

Пример глобального распределения максимальной э.п.п.м. для системы НГСО, имеющей геостационарный период



Дополнение 2 к Приложению 1

Аналитическая методика для оценки максимума э.п.п.м. одиночной системы РНСС, работающей в полосе частот 1164–1215 МГц

1 Введение

Данная методика предназначена для того, чтобы показать, как может быть оценена максимальная э.п.п.м. одиночной системы РНСС.

Определение э.п.п.м. дается в п. 1.1 Приложения 1.

2 Описание методики

Если допустить, что группировки системы НГСО РНСС состоят из ряда орбитальных плоскостей, то тогда наиболее вероятно, что в любой конкретной плоскости максимум одного спутника на плоскость будет находиться в пределах угла места $-3,54^\circ - +3^\circ$ диаграммы направленности антенны ВРНС (см. Приложение 2). Кроме того, для систем НГСО вероятно, что если спутник находится в пределах диаграммы направленности антенны ВРНС по максимуму усиления, видимому космической станцией, другие спутники в плоскости будут иметь относительно незначительный вклад э.п.п.м. Таким образом, число спутников со значительным вкладом в суммарную э.п.п.м. системы РНСС вероятно будет меньше или равно числу системы, использующей эти допущения; максимальную э.п.п.м. ($epfd_{max}$) группировки НГСО РНСС можно выразить как:

$$epfd_{max} = 10 \log N_p + epfd_{i, max} \quad \text{дБ(Вт/(м}^2 \cdot \text{МГц))},$$

где:

N_p : максимальное число спутников в главном луче приемной антенны ВРНС (обычно, число орбитальных плоскостей в группировке)

$epfd_{i,max}$: максимальный вклад э.п.п.м. одного спутника (дБ(Вт/(м² · МГц))).

3 Примеры НГСО

Используя уравнение в п. 2, получим $epfd_{max}$ при максимальном вкладе э.п.п.м. $-136,9$ дБ(Вт/(м² · МГц)) одного спутника в группировке НГСО РНСС, состоящей из шести плоскостей:

$$epfd_{max} = (-136,9) + 10 \log 6 = -129,12 \quad \text{дБ(Вт/(м}^2 \cdot \text{МГц))}.$$

Аналогичный расчет с использованием уравнения в п. 2 при максимальном вкладе э.п.п.м. одного спутника $-130,24$ дБ(Вт/(м² · МГц)) в группировке НГСО РНСС, состоящей из трех плоскостей, дает максимальную э.п.п.м., равную $-125,47$ дБ(Вт/(м² · МГц)).

Эти величины очень хорошо согласуются с методом моделирования Дополнения 1 к Приложению 1 с разницей всего в 1,2 дБ.

Приложение 2

Характеристики эталонной станции ВРНС, которые должны использоваться для расчета э.п.п.м.

1 Характеристика антенны ВРНС

В таблице 1 приведены значения усиления антенны для величин углов места между -90° и 90° . Для величин углов места между двумя значениями в таблице 1 должны использоваться линейная интерполяция. Как указано в Рекомендации МСЭ-R М.1639, величина $G_{r,max}$ равна 3,4 дБи, включая 2 дБ на несоответствие круговой и линейной поляризаций. Предполагается, что угол места и диаграмма направленности одинаковы для всех азимутов.

ТАБЛИЦА 1

Угол места (градусы)	Усиление антенны, включая несоответствие круговой и линейной поляризации $G_r/G_{r,max}$ (дБ)	Угол места (градусы)	Усиление антенны, включая несоответствие круговой и линейной поляризации $G_r/G_{r,max}$ (дБ)	Угол места (градусы)	Усиление антенны, включая несоответствие круговой и линейной поляризации $G_r/G_{r,max}$ (дБ)
-90	-17,22	22	-10,72	57	-15,28
-80	-14,04	23	-10,81	58	-15,49
-70	-10,51	24	-10,9	59	-15,67
-60	-8,84	25	-10,98	60	-15,82
-50	-5,4	26	-11,06	61	-16,29
-40	-3,13	27	-11,14	62	-16,74
-30	-0,57	28	-11,22	63	-17,19
-20	-1,08	29	-11,29	64	-17,63
-10	0	30	-11,36	65	-18,06
-5	-1,21	31	-11,45	66	-18,48
-3	-1,71	32	-11,53	67	-18,89
-2	-1,95	33	-11,6	68	-19,29
-1	-2,19	34	-11,66	69	-19,69

ТАБЛИЦА 1 (окончание)

Угол места (градусы)	Усиление антенны, включая несоответствие круговой и линейной поляризации $G_r/G_{r,max}$ (дБ)	Угол места (градусы)	Усиление антенны, включая несоответствие круговой и линейной поляризации $G_r/G_{r,max}$ (дБ)	Угол места (градусы)	Усиление антенны, включая несоответствие круговой и линейной поляризации $G_r/G_{r,max}$ (дБ)
0	-2,43	35	-11,71	70	-20,08
1	-2,85	36	-11,75	71	-20,55
2	-3,26	37	-11,78	72	-20,99
3	-3,66	38	-11,79	73	-21,41
4	-4,18	39	-11,8	74	-21,8
5	-4,69	40	-11,79	75	-22,15
6	-5,2	41	-12,01	76	-22,48
7	-5,71	42	-12,21	77	-22,78
8	-6,21	43	-12,39	78	-23,06
9	-6,72	44	-12,55	79	-23,3
10	-7,22	45	-12,7	80	-23,53
11	-7,58	46	-12,83	81	-23,44
12	-7,94	47	-12,95	82	-23,35
13	-8,29	48	-13,05	83	-23,24
14	-8,63	49	-13,14	84	-23,13
15	-8,97	50	-13,21	85	-23,01
16	-9,29	51	-13,56	86	-22,88
17	-9,61	52	-13,9	87	-22,73
18	-9,93	53	-14,22	88	-22,57
19	-10,23	54	-14,51	89	-22,4
20	-10,52	55	-14,79	90	-22,21
21	-10,62	56	-15,05		

2 Местоположение станции ВРНС

Высота станции ВРНС должна быть взята для худшего случая (40 000 футов, т. е. 12 192 м), при котором обеспечивается максимальная видимость потенциально мешающих спутников приемной антенной ВРНС.