

РЕКОМЕНДАЦИЯ МСЭ-R М.1583-1*

Расчет помех между негеостационарными системами подвижной спутниковой или радионавигационной спутниковой служб и местами расположения радиоастрономических телескопов

(Вопрос МСЭ-R 236/8)

(2002-2007)

Сфера применения

В настоящей Рекомендации описывается методика для использования при расчете величины потерь данных вследствие помех, создаваемых системой НГСО подвижной спутниковой или радионавигационной спутниковой служб в местах расположения радиоастрономических станций. Настоящая методика основана на расчете э.п.п.м., создаваемой рассматриваемыми активными системами в местах расположения радиоастрономических станций.

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

учитывая,

- a) что в некоторых случаях радиоастрономическая служба и космические службы (космос-Земля) располагаются в соседних или близлежащих полосах частот;
- b) что радиоастрономическая служба основана на приеме излучений с уровнями мощности гораздо ниже тех, которые, в основном, используются в других радиослужбах;
- c) что несмотря на эти низкие уровни принимаемой мощности, радиоастрономическая служба, в основном, более восприимчива к помехам от нежелательных излучений, чем другие службы;
- d) что вследствие характеристик негеостационарных (НГСО) спутниковых систем, и, в частности, из-за изменяющегося во времени характера помех, уровень помехи радиотелескопам от таких спутников нельзя оценить таким же способом, как в случае спутников ГСО,

рекомендует,

- 1 что определение уровней нежелательных излучений, создаваемых системами НГСО радионавигационной спутниковой службы (РНСС) или подвижной спутниковой службы (ПСС) в местах расположения радиоастрономических станций, должно осуществляться на основе методики, описанной в Приложении 1;
- 2 что при выполнении данного определения для построения моделей радиоастрономических антенн должна использоваться диаграмма направленности антенны, описанная в Рекомендации МСЭ-R RA.1631;
- 3 что процент времени, в течение которого превышает пороговый уровень эквивалентной плотности потока мощности (э.п.п.м.), должен также определяться в соответствии с методикой, описанной в Приложении 2.

* Настоящая Рекомендация должна быть доведена до сведения 7-й Исследовательской комиссии по радиосвязи.

Приложение 1

Расчет уровней нежелательных излучений, создаваемых системой НГСО РНСС или МСС в местах расположения радиоастрономических станций

Описанная в настоящем Приложении методика на основе метода "эквивалентной плотности потока мощности" (э.п.п.м.) предназначена для использования при расчете уровней плотности потока мощности (п.п.м.), создаваемой на входе радиотелескопа нежелательными излучениями спутниковой системы НГСО, и учитывает характеристики спутниковой системы и антенны радиотелескопа. Значение э.п.п.м. является суммой составляющих, создаваемых всеми излучениями от спутников, которая выражается в виде п.п.м. одного эквивалентного источника, расположенного в направлении прицеливания (пиковый уровень главного луча) радиотелескопа.

1 Требуемые параметры

Вследствие определенных характеристик спутниковых систем НГСО очевидно, что уровень помехи радиотелескопу от таких спутников нельзя оценить таким же способом, как в случае спутников ГСО. Необходим статистический метод, который учитывает динамический фактор спутников НГСО.

Оценка помех, создаваемых этими спутниками радиотелескопу за время интеграции (2000 с), должна проводиться на основе статистических расчетов и должна учитывать параметры спутников и радиотелескопа.

Параметры спутниковой системы НГСО:

- число спутников, видимых на небе радиоастрономической станции;
- подробные орбитальные характеристики спутников;
- п.п.м., излучаемой каждым спутником, на входе радиотелескопа в рассматриваемой полосе частот радиоастрономической службы, которую можно оценить с использованием модели маски нежелательных излучений.

Параметры радиотелескопа:

- расположение антенны;
- диаграмма направленности антенны и усиление антенны;
- практический диапазон направлений наведения;
- направление прицеливания;
- внеосевые углы между направлением прицеливания антенны радиоастрономической станции и направлениями на передающие спутники;
- время интеграции (2000 с).

2 Расчет э.п.п.м. в местах расположения радиоастрономических станций

Усиление приемной антенны радиотелескопа в направлении спутника НГСО (в отличие от ГСО) изменяется во времени главным образом из-за движения спутника и слабой угловой структуры бокового лепестка диаграммы направленности радиотелескопа. В одно время усиление телескопа в направлении спутника будет гораздо больше 0 дБи, а в другое время будет гораздо меньше.

Кроме того, в случае многих спутников системы НГСО, все их составляющие должны быть включены и надлежащим образом учтены.

Это возможно с использованием метода э.п.п.м., который первоначально предназначался для оценки условий возможного совместного использования частот системами ГСО и НГСО. В разделе, ниже, этот метод распространяется на случай радиоастрономической станции, испытывающей помехи от спутников НГСО.

2.1 Определение э.п.п.м.

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 создаст такую же мощность на входе приемника, как и фактически получаемую от всех различных передатчиков.

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

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

где:

- N_a : число космических станций системы НГСО, видимых с радиотелескопа
- i : индекс рассматриваемой космической станции системы НГСО
- P_i : РЧ мощность нежелательного излучения рассматриваемой передающей космической станции системы НГСО (дБВт) в эталонной ширине полосы на входе антенны (РЧ излучаемая мощность в случае активной антенны)
- θ_i : внеосевой угол (в градусах) между направлением прицеливания рассматриваемой передающей космической станции системы НГСО и направлением на радиотелескоп
- $G_t(\theta_i)$: усиление передающей антенны (как отношение) рассматриваемой космической станции системы НГСО в направлении на радиотелескоп
- d_i : расстояние (в метрах) между рассматриваемой передающей станцией системы НГСО и радиотелескопом
- φ_i : внеосевой угол (в градусах) между направлением наведения радиотелескопа и направлением на рассматриваемую передающую космическую станцию системы НГСО
- $G_r(\varphi_i)$: усиление приемной антенны (как отношение) радиотелескопа в направлении на рассматриваемую передающую космическую станцию системы НГСО (см. Рекомендацию МСЭ-R RA.1631)
- $G_{r,max}$: максимальное усиление (как отношение) радиотелескопа
- $epfd$: мгновенное значение плотности потока мощности (дБ(Вт/м²)) в эталонной ширине полосы на входе радиотелескопа.

При расчете э.п.п.м. в уравнении (1) предполагается, что направление п.п.м. от всех источников помех совпадает с направлением прицеливания приемной антенны, при котором усиление антенны максимально. Однако критерии защиты радиоастрономической службы основаны на контуре 0 дБи радиоастрономической антенны. Используя метод из уравнения (1), можно определить п.п.м. от всех источников помех в направлении усиления приемной антенны 0 дБи следующим образом:

$$epfd_{G_r=0 \text{ дБи}} = 10 \log_{10} \left[\sum_{i=1}^{N_a} 10^{10 \frac{P_i}{10}} \cdot \frac{G_t(\theta_i)}{4\pi d_i^2} \cdot G_r(\varphi_i) \right]. \quad (2)$$

Получающиеся из уравнения (2) значения $epfd_{G_r=0 \text{ dBi}}$, усредненные (к линейной форме) за время интеграции 2 000 с, можно сравнить с уровнями п.п.м. (определенными исходя из предположения об усилении приемной антенны 0 дБи в направлении помехи и при данном времени интеграции).

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Предполагается, что каждый передатчик расположен в дальней зоне радиотелескопа (т. е. на расстоянии более $2D^2/\lambda$, где D – эффективный диаметр радиотелескопа, а λ – наблюдаемая длина волны). Несмотря на то что это требование не всегда может быть удовлетворено, данная аппроксимация считается достаточной.

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Для некоторых телескопов направление максимального усиления (направление прицеливания) может не всегда совпадать с геометрической осью радиотелескопа.

ПРИМЕЧАНИЕ 3. – В случае активных антенн в качестве P_i следует брать излучаемую РЧ мощность, а не мощность на входе антенны.

ПРИМЕЧАНИЕ 4. – Усиление антенны передающей станции, $G_i(\theta_i)$ берется на частоте, принадлежащей рассматриваемой полосе частот радиоастрономической службы. Это усиление может отличаться от усиления на частотах, предназначенных для передач.

Приложение 2

Распределение уровней э.п.п.м.

В настоящем Приложении описывается способ получения статистических данных об э.п.п.м. по всему небу.

1 Разделение неба на ячейки с приблизительно равными пространственными углами

Первый шаг данного метода заключается в разделении неба на M колец, параллельных горизонту и равномерно распределенных с точки зрения угла места от 0° до 90° . Ширина каждого кольца равна $90/M^\circ$. Следующий шаг состоит в делении этих колец на ячейки, ширина азимута которых выбирается таким образом, чтобы получить целое число ячеек в кольце, и приблизительно равна:

$$\frac{90/M}{\cos(elevation)} \quad \text{градусов.}$$

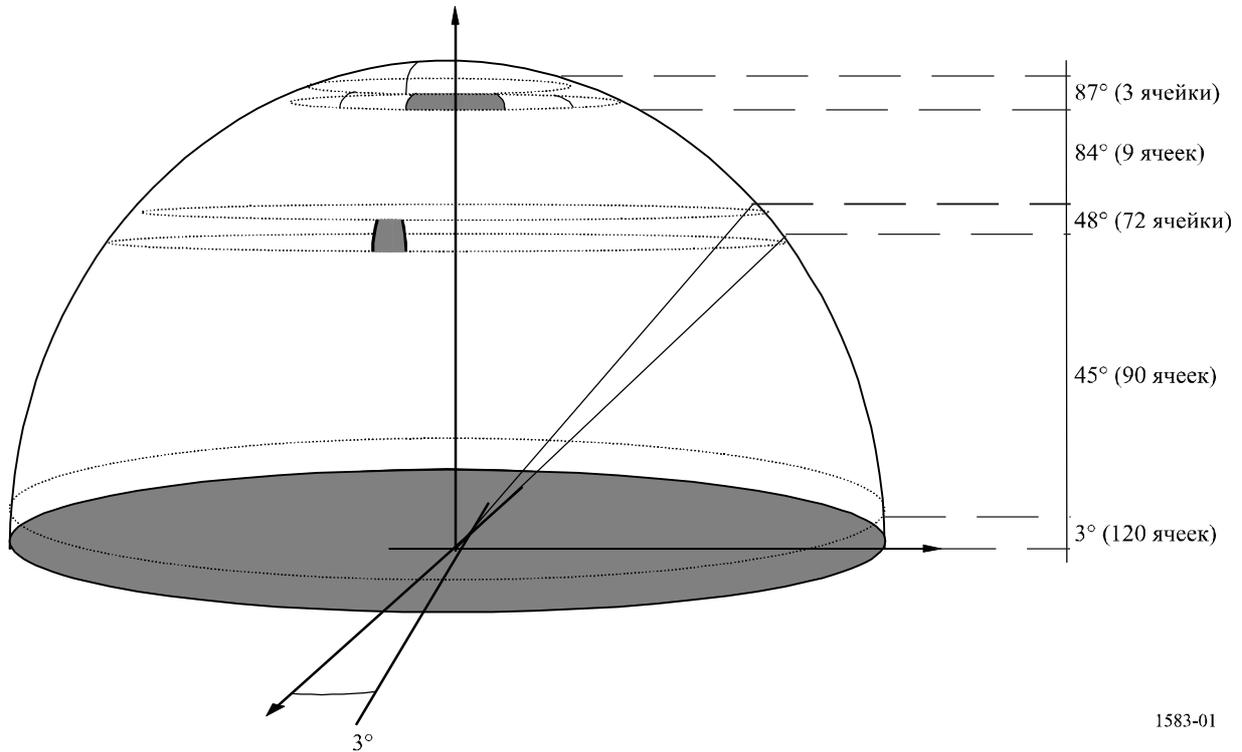
На рисунке 1 приводится пример разделения с использованием ширины шага угла места 3° , при котором небо делится на 30 колец с углом места 3° . Тогда ширина азимута приблизительно равна:

$$\frac{90/30}{\cos(elevation)} \quad \text{градусов.}$$

Угол места является средним значением угла места в данном кольце.

РИСУНОК 1

Пример разделения неба на ячейки с пространственным углом приблизительно 9 квадратных градусов



1583-01

При этом небо будет разделено на 2334 ячейки с пространственным углом приблизительно 9 квадратных градусов каждый. В таблице 1 представлен ряд ячеек каждого кольца в соответствии с данным примером.

ТАБЛИЦА 1

Пример разделения неба на квадратные ячейки с пространственным углом около 9 квадратных градусов

Нижний угол места кольца (градусы)	Пространственный угол кольца (квадратные градусы)	Накопленный пространственный угол (квадратные градусы)	Шаг азимута (градусы)	Число ячеек в кольце	Пространственный угол ячейки (квадратные градусы)	Накопленное число ячеек	Процентная доля пространственного угла (%)	Накопленный пространственный угол (%)
0	1 079,51	1 079,51	3	120	9,00	120	5,23	5,23
3	1 076,55	2 156,05	3	120	8,97	240	5,22	10,45
6	1 070,64	3 226,69	3	120	8,92	360	5,19	15,64
9	1 061,79	4 288,49	3	120	8,85	480	5,15	20,79
12	1 050,04	5 338,53	3	120	8,75	600	5,09	25,88
15	1 035,41	6 373,93	3	120	8,63	720	5,02	30,90
18	1 017,94	7 391,87	3	120	8,48	840	4,94	35,84
21	997,68	8 389,55	3	120	8,31	960	4,84	40,67
24	974,68	9 364,23	3	120	8,12	1 080	4,73	45,40

ТАБЛИЦА 1 (окончание)

Нижний угол места кольца (градусы)	Пространственный угол кольца (квадратные градусы)	Накопленный пространственный угол (квадратные градусы)	Шаг азимута (градусы)	Число ячеек в кольце	Пространственный угол ячейки (квадратные градусы)	Накопленное число ячеек	Процентная доля пространственного угла (%)	Накопленный пространственный угол (%)
27	949,01	10 313,24	3	120	7,91	1 200	4,60	50,00
30	920,75	11 233,99	4	90	10,23	1 290	4,46	54,46
33	889,95	12 123,94	4	90	9,89	1 380	4,31	58,78
36	856,72	12 980,66	4	90	9,52	1 470	4,15	62,93
39	821,14	13 801,81	4	90	9,12	1 560	3,98	66,91
42	783,31	14 585,12	4	90	8,70	1 650	3,80	70,71
45	743,34	15 328,46	4	90	8,26	1 740	3,60	74,31
48	701,32	16 029,79	5	72	9,74	1 812	3,40	77,71
51	657,39	16 687,17	5	72	9,13	1 884	3,19	80,90
54	611,65	17 298,82	5	72	8,50	1 956	2,97	83,87
57	564,23	17 863,06	6	60	9,40	2 016	2,74	86,60
60	515,27	18 378,33	6	60	8,59	2 076	2,50	89,10
63	464,90	18 843,23	6	60	7,75	2 136	2,25	91,35
66	413,25	19 256,48	8	45	9,18	2 181	2,00	93,36
69	360,47	19 616,95	9	40	9,01	2 221	1,75	95,11
72	306,70	19 923,65	10	36	8,52	2 257	1,49	96,59
75	252,09	20 175,74	12	30	8,40	2 287	1,22	97,81
78	196,79	20 372,53	18	20	9,84	2 307	0,95	98,77
81	140,95	20 513,49	24	15	9,40	2 322	0,68	99,45
84	84,73	20 598,21	40	9	9,41	2 331	0,41	99,86
87	28,27	20 626,48	120	3	9,42	2 334	0,14	100,00

2 Распределение э.п.п.м. для ячейки

Вначале осуществляется случайный выбор направления наведения антенны станции радиоастрономической службы, которое будет лежать в пределах конкретной ячейки неба, определенной в п. 1. Затем случайным образом выбирается время начала передачи группировки. Далее для каждой временной выборки оценивается э.п.п.м. за время интеграции 2000 с. И затем рассчитывается средняя э.п.п.м., соответствующая данному испытанию, при выбранном направлении наведения и времени начала передачи группировки.

Данная операция повторяется для получения статистического распределения э.п.п.м. в рассматриваемой ячейке. В этом методе используется ряд испытаний, в каждом из которых рассчитывается усредненный уровень э.п.п.м. за интервал времени интеграции 2000 с. Чем больше число испытаний, тем более точным будет данное распределение. Для получения требуемого уровня значимости результатов необходимо достаточное число испытаний. В частности, число испытаний, помноженное на время интеграции 2000 с, должно быть значительно выше периода передачи группировки. Также необходимо обеспечить достаточную статистическую выборку за весь период передачи группировки. Как только обнаружится, что в этом распределении больше не происходит никаких существенных изменений, можно сделать вывод, что выполнено достаточное число испытаний. Такая проверка может выполняться либо автоматически, как составная часть процедуры моделирования, либо вручную, путем приостановки процедуры моделирования через равные промежутки времени.

3 Результат с точки зрения процентной доли потерь данных

При определении э.п.п.м., описанном в п. 2, получается распределение уровней э.п.п.м. для каждой ячейки неба, которые можно сравнить с пороговыми уровнями, используемыми для радиоастрономических измерений. Если эти уровни превышаются, некоторые радиоастрономические данные будут потеряны. Процентная доля данных потерь определяется как сумма этих потерь по всем ячейкам на протяжении ряда испытаний. На рисунке 2 показан пример процентной доли потерь данных в расчете на ячейку по всему небу для группировки НГСО РНСС.

РИСУНОК 2

Распределение потерь данных по небу

