

Рекомендация МСЭ-R RS.2066-1 (03/2024)

Серия RS: Системы дистанционного зондирования

**Защита радиоастрономической
службы в полосе частот 10,6–10,7 ГГц
от нежелательных излучений радаров
с синтезированной апертурой,
работающих в спутниковой службе
исследования Земли (активной) на
частоте около 9600 МГц**

Предисловие

Роль Сектора радиосвязи заключается в обеспечении рационального, справедливого, эффективного и экономичного использования радиочастотного спектра всеми службами радиосвязи, включая спутниковые службы, и проведении в неограниченном частотном диапазоне исследований, на основании которых принимаются Рекомендации.

Всемирные и региональные конференции радиосвязи и ассамблеи радиосвязи при поддержке исследовательских комиссий выполняют регламентарную и политическую функции Сектора радиосвязи.

Политика в области прав интеллектуальной собственности (ПИС)

Политика МСЭ-R в области ПИС излагается в общей патентной политике МСЭ-T/МСЭ-R/ИСО/МЭК, упоминаемой в Резолюции МСЭ-R 1. Формы, которые владельцам патентов следует использовать для представления патентных заявлений и деклараций о лицензировании, представлены по адресу: <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/ru>, где также содержатся Руководящие принципы по выполнению общей патентной политики МСЭ-T/МСЭ-R/ИСО/МЭК и база данных патентной информации МСЭ-R.

Серии Рекомендаций МСЭ-R

(Представлены также в онлайн-форме по адресу: <http://www.itu.int/publ/R-REC/ru>.)

Серия	Название
BO	Спутниковое радиовещание
BR	Запись для производства, архивирования и воспроизведения; пленки для телевидения
BS	Радиовещательная служба (звуковая)
BT	Радиовещательная служба (телевизионная)
F	Фиксированная служба
M	Подвижные службы, служба радиоопределения, любительская служба и относящиеся к ним спутниковые службы
P	Распространение радиоволн
RA	Радиоастрономия
RS	Системы дистанционного зондирования
S	Фиксированная спутниковая служба
SA	Космические применения и метеорология
SF	Совместное использование частот и координация между системами фиксированной спутниковой службы и фиксированной службы
SM	Управление использованием спектра
SNG	Спутниковый сбор новостей
TF	Передача сигналов времени и эталонных частот
V	Словарь и связанные с ним вопросы

Примечание. – Настоящая Рекомендация МСЭ-R утверждена на английском языке в соответствии с процедурой, изложенной в Резолюции МСЭ-R 1.

Электронная публикация
Женева, 2024 г.

© ITU 2024

Все права сохранены. Ни одна из частей данной публикации не может быть воспроизведена с помощью каких бы то ни было средств без предварительного письменного разрешения МСЭ.

РЕКОМЕНДАЦИЯ МСЭ-R RS.2066-1

Защита радиоастрономической службы в полосе частот 10,6–10,7 ГГц от нежелательных излучений радаров с синтезированной апертурой, работающих в спутниковой службе исследования Земли (активной) на частоте около 9600 МГц

(2014-2024)

Сфера применения

В настоящей Рекомендации представлена эксплуатационная процедура, предназначенная для того чтобы не допускать связи между главными лучами систем SAR-4 спутниковой службы исследования Земли (ССИЗ) (активной) при осуществлении передачи на частоте около 9600 МГц и станций радиоастрономической службы (РАС), осуществляющих наблюдения в полосе 10,6–10,7 ГГц, с тем чтобы не наносить вред чувствительному малошумящему усилителю РАС.

Ключевые слова

ССИЗ (активная), РАС, ослабление влияния помех.

Аббревиатуры/гlossарий

SAR Synthetic Aperture Radar Радар с синтезированной апертурой

Соответствующие Рекомендации/Отчеты МСЭ

Рекомендация МСЭ-R RS.2043 – Характеристики радаров с синтезированной апертурой, работающих в спутниковой службе исследования Земли (активной) в полосе около 9600 МГц

Report ITU-R RA.2188 – Power flux-density and e.i.r.p. levels potentially damaging to radio astronomy receivers

Report ITU-R RS.2274 – Spectrum requirements for spaceborne synthetic aperture radar applications planned in an extended allocation to the Earth exploration-satellite service around 9 600 MHz

Report ITU-R RS.2308 – Radio frequency compatibility of unwanted emissions from 9 GHz EESS synthetic aperture radars with the Earth exploration-satellite service (passive), space research service (passive), space research service and radio astronomy service operating in the frequency bands 8 400–8 500 MHz and 10,6–10,7 GHz, respectively

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

учитывая,

- a)* что полоса частот 9300–9800 МГц распределена ССИЗ (активной) на первичной основе;
- b)* что полоса частот 9800–9900 МГц распределена ССИЗ (активной) на вторичной основе;
- c)* что полоса частот 10,6–10,7 ГГц распределена РАС на первичной основе;
- d)* что активные радары, работающие в системах ССИЗ (активной) на частоте около 9600 МГц, используют излучения с ЛЧМ высокой мощности в направлении космос-Земля;
- e)* что в радиоастрономических станциях, работающих в полосе частот 10,6–10,7 ГГц, используются высокочувствительные малошумящие усилители;
- f)* что в Отчете МСЭ-R RA.2188 приведены уровни плотности потока мощности и э.и.и.м., которые потенциально наносят вред малошумящим усилителям/трактам высокой частоты РАС;
- g)* что уровень помех, принимаемых станциями РАС в результате излучений систем ССИЗ (активной), может при редких условиях связи между главными лучами достигать приведенных в Отчете МСЭ-R RA.2188 критических уровней или превышать их,

рекомендует,

1 чтобы в целях обеспечения совместимости SAR ССИЗ и станций РАС системы SAR ССИЗ, работающие на частотах около 9600 МГц, в максимальной возможной степени не допускали облучения зоны вокруг радиоастрономических станций. Размер такой зоны определен в Приложении 1. В Приложении 2 представлен перечень станций РАС, которые могут работать в полосе частот 10,6–10,7 ГГц и которые могут вести наблюдения в период облучения;

2 чтобы в том случае, когда не выполняются условия, упомянутые в пункте 1 раздела *рекомендует*, оператор системы SAR ССИЗ устанавливал связь с оператором соответствующей радиоастрономической станции не менее чем за семь календарных дней до этого события в штатном режиме работы SAR ССИЗ и не менее чем за 24 часа в режиме сбора изображений SAR ССИЗ только в чрезвычайных ситуациях, таких как управление операциями в случае бедствий, с тем чтобы координировать и, если необходимо, согласовать меры по ослаблению влияния помех или другие предупредительные меры.

Приложение 1

Определение защитной зоны вокруг станций РАС

Контур луча излучений, соответствующий запасу, который устанавливается при применении Рекомендации МСЭ-R RA.2188, определяет зону повреждаемости при потенциальной связи между лучами обеих антенн в осевых направлениях. Этот контур имеет форму эллипса, большая ось которого $\delta\theta_h$ находится в горизонтальном направлении луча, а малая ось $\delta\theta_v$ – в вертикальном направлении луча, определяя таким образом зону, в которой уровень мощности на станции РАС превысит –18 дБВт. Проекция на поверхность Земли дает размер зоны с расширением на $\pm\delta h$ в горизонтальном направлении и $\pm\delta v$ в вертикальном направлении вокруг радиоастрономической станции, которая должна быть защищена. В таблице 1 представлен диапазон параметров для недопущения случайного повреждения приемника РАС¹ с антенной диаметром 100 м на основании SAR-4, описанного в Рекомендации МСЭ-R RS.2043.

ТАБЛИЦА 1

Параметры для недопущения случайного повреждения РА приемников

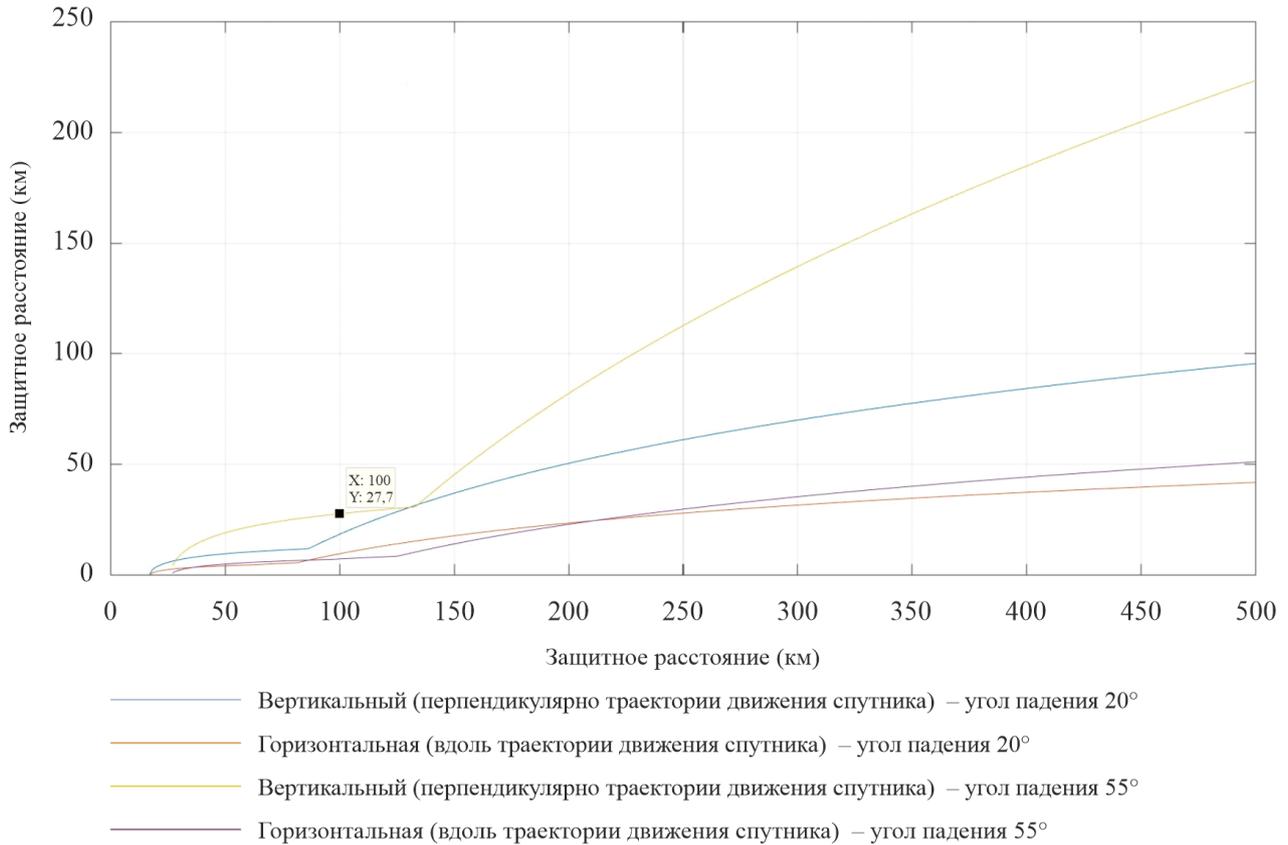
Угол падения Φ	Угол горизонтального смещения $\delta\theta_h$	Угол вертикального смещения $\delta\theta_v$	Горизонтальный разнос (км) δh	Вертикальный разнос (км) δv
20°	1,02°	1,8°	9,6	18,2
55°	0,5°	1,1°	7,4	28,1

На рисунке 1 показан размер зоны вокруг подлежащей защите станции РАС, который зависит от диаметра антенны РАС и угла падения. Можно видеть, что не существует ограничений для станций РАС, диаметр антенны которых менее 17 м, и что максимальное расстояние разноса относительно станции РАС составляет 28 км для большинства станций РАС.

¹ В вертикальном направлении существует асимметрия величиной 5,6% для $\delta\theta_v$ и δv между внутренним и внешним углами смещения и расстояниями, которая не была принята во внимание. Перечислены только более крупные внешние значения. Проекция на поверхность земли контуров запаса, которые представляют собой искаженные эллипсы, были аппроксимированы прямоугольниками.

РИСУНОК 1

Размер зоны вокруг подлежащих защите станций РАС на основе характеристик SAR-4 ССИЗ



RS.2066-01

В более общем смысле, для данного угла падения i расстояние между спутником SAR и зоной сбора определяется следующим образом:

$$d = \sqrt{(r + h)^2 - r^2 * \sin^2(i)} - r * \cos(i),$$

где:

- r : радиус Земли (км);
- i : угол падения (°);
- h : высота SAR (км).

Соответствующий угол между надиром и зоной сбора в вертикальной плоскости определяется следующим образом:

$$\theta_v = \arcsin\left(\frac{r * \sin(i)}{r + h}\right),$$

где:

- r : радиус Земли (км);
- i : угол падения (°);
- h : высота SAR (км).

Максимальное усиление антенны РАС может быть получено на основании диаметра антенны и частоты с помощью следующей формулы:

$$G_r = 8,9 + 20 \log(\pi D f),$$

где:

- D : диаметр антенны РАС (м);
 f : частота (ГГц).

На основании этих значений предел усиления антенны SAR, который обеспечит соблюдение предела принимаемой мощности, равного -18 дБВт, определяется следующим образом:

$$Ge = Pr_{limit} + L_p - G_r - P_e,$$

где:

- Pr_{limit} : принимаемая мощность, которая не должна быть превышена (-18 дБВт ниже 20 ГГц);
 L_p : потери в свободном пространстве (дБ);
 G_r : максимальное усиление антенны РАС (дБи);
 P_e : пиковая мощность SAR (дБВт).

Используя диаграммы направленности антенны SAR в горизонтальной и вертикальной плоскостях, можно определить соответствующие углы смещения $\delta\theta_h$ и $\delta\theta_v$. На основании этих углов можно вывести расстояния горизонтального и вертикального разноса δh и δv .

$$\delta h = r * \operatorname{asin}\left(\frac{d \tan(\delta\theta_h)}{r}\right),$$

где:

- r : радиус Земли (км);
 d : наклонная дальность (км);
 $\delta\theta_h$: угол горизонтального смещения (градусы).

Наклонная дальность между спутником и станцией РАС, на которой соблюдается предел принимаемой мощности, определяется следующим образом:

$$d + \delta d = (r + h) \cos(\theta_v + \delta\theta_v) - \sqrt{r^2 - (r + h)^2 \sin^2(\theta_v + \delta\theta_v)},$$

где:

- r : радиус Земли (км);
 d : наклонная дальность между спутником и зоной сбора (км);
 h : высота спутника SAR (км);
 θ_v : угол между надиром и зоной сбора в вертикальной плоскости (°);
 $\delta\theta_v$: угол вертикального смещения (градусы).

Также можно вывести расстояние вертикального разноса δv :

$$\delta v = r \left(\operatorname{asin}\left(\frac{(d + \delta d)}{r} \sin(\theta_v + \delta\theta_v)\right) - \operatorname{asin}\left(\frac{d}{r} \sin(\theta_v)\right) \right),$$

где:

- r : радиус Земли (км);
 d : наклонная дальность между спутником и зоной сбора (км);
 $d + \delta d$: наклонная дальность между спутником и станцией РАС (км);
 θ_v : угол между надиром и зоной сбора в вертикальной плоскости (°);
 $\delta\theta_v$: угол вертикального смещения (градусы).

Приложение 2

Список радиоастрономических станций, способных работать
в полосе 10,6–10,7 ГГц

Район 1

Страна	Название	Северная широта	Восточная долгота	Размер антенны ²
Бельгия	Humain	50° 11' 30"	05° 15' 27"	64 м
Финляндия	Metsahövi	60° 13' 04"	24° 23' 37"	13,7 м; 13,2 м
Франция	Nancay	47° 23' 00"	02° 12' 00"	16 × 1,1 м
Германия	Effelsberg	50° 31' 29"	06° 53' 03"	100 м
	Stockert	50° 34' 10"	06° 43' 19"	10 м
	Wetzell	49° 08' 41"	12° 52' 40"	20 м; 2 × 13,2 м
Италия	Matera	40° 38' 58.2"	16° 42' 14.45"	20 м; 13,2 м
	Medicina	44° 31' 14"	11° 38' 49"	32 м; 2,4 м
	Noto	36° 52' 33"	14° 59' 20"	32 м
	Sardinia	39° 29' 34"	09° 14' 42"	64 м
Латвия	Ventspils	57° 33' 12"	21° 51' 17"	32 м
Норвегия	Ny Ålesund	78° 55' 45"	11° 52' 15"	2 × 13,2 м
Португалия				
	Santa Maria	36° 59' 07"	-25° 07' 33"	13 м
Россия	Badari	51° 46' 10"	102° 14' 00"	32 м; 13,2 м
	Kaliazyn	57° 13' 22"	37° 54' 01"	64 м
	Pushchino	54° 49' 20"	37° 37' 53"	22 м
	Svetloe	60° 31' 56"	29° 46' 54"	32 м; 13,2 м
	Zelenchukskaya	43° 49' 34"	41° 35' 12"	32 м; 13,2 м
Южно-Африканская Республика	Hartebeesthoek	-25° 53' 22"	27° 41' 05"	26 м; 13,2 м
	MeerKAT	-30° 43' 16"	21° 24' 40"	64 × 13,5 м
	SKA1-MID	-30° 42' 47"	21° 26' 38"	133 × 15 м
Испания	Gran Canaria	28° 01' 34"	-15° 40' 16"	13,2 м
	Robledo	40° 25' 38"	-04° 14' 57"	70 м; 34 м
	Tenerife	28° 18' 00"	-16° 30' 35"	12 м
	Yebes	40° 31' 27"	-03° 05' 13"	40 м; 13,2 м
Швеция	Onsala	57° 23' 45"	11° 55' 35"	20 м; 25 м; 2 × 13,2 м
Швейцария	Bleien	47° 20' 24"	08° 06' 42"	5 м; 7 м
	Zurich	47° 22' 40.8"	08° 33' 03"	5 м
Турция	Kayseri	38° 42' 37"	35° 32' 43"	13 м
Соединенное Королевство	MERLIN Cambridge	52° 10' 01"	00° 02' 14"	32 м
	MERLIN Knockin	52° 47' 25"	-02° 59' 50"	25 м

² В этом столбце "X м" означает антенну диаметром X метров, а "Y × X м" означает Y антенн диаметром X метров.

Страна	Название	Северная широта	Восточная долгота	Размер антенны ²
	MERLIN Darnhall	53° 09' 23"	-02° 32' 09"	25 м
	MERLIN Jodrell Bank	53° 14' 07"	-02° 18' 23"	26 м
	MERLIN Pickmere	53° 17' 19"	-02° 26' 44"	25 м
	MERLIN Defford	52° 06' 02"	-02° 08' 40"	25 м

Район 2

Страна	Название	Северная широта	Восточная долгота	Размер антенны ³
Бразилия	Itapetinga	-23° 11' 05"	-46° 33' 28"	14 м
Канада	Algonquin Radio Obsy	45° 57' 19"	-78° 04' 23"	46 м
Чили	ALMA	-23° 01' 09"	-67° 45' 12"	54 × 12 м, 12 × 7 м
Мексика	INAOE RT5	18° 59' 04"	-97° 18' 32"	50 м
США	Allen Telescope Array (ATA), Hat Creek Radio Observatory	40° 49' 03"	-121° 28' 24"	42 × 6 м
	Arecibo	18° 20' 39"	-66° 45' 10"	305 м
	Goddard Geophysical and Astronomic Observatory (GGAO)	39° 01' 19"	-76° 49' 37"	12 м
	Goldstone Deep Space Communications Complex (GDSCC)	35° 25' 33"	-116° 53' 22"	70,3 м
	Robert C. Byrd Telescope, Green Bank Observatory	38° 25' 59"	-79° 50' 23"	100 м
	Westford Radio Telescope, Haystack Observatory	42° 36' 47"	-71° 29' 38"	18,3 м
	Kōke'e Park Geophysical Observatory (KPGO)	22° 07' 34"	-159° 39' 54"	20 м, 12 м
	Jansky Very Large Array (JVLA)	33° 58' 22" to 34° 14' 56"	-107° 24' 40" to -107° 48' 22"	27 × 25 м
	McDonald Geodetic Observatory (MGO)	30° 40' 48"	-104° 01' 26"	12 м
	VLBA Brewster, WA	38° 25' 59"	-79° 50' 23"	25 м
	VLBA Fort Davis, TX	30° 38' 06"	-103° 56' 41"	25 м
	VLBA Hancock, NH	42° 56' 01"	-71° 59' 12"	25 м
	VLBA Kitt Peak, AZ	31° 57' 23"	-111° 36' 45"	25 м
	VLBA Los Alamos, NM	35° 46' 30"	-106° 14' 44"	25 м
	VLBA Mauna Kea, HI	19° 48' 05"	-155° 27' 20"	25 м
VLBA North Liberty, IA	41° 46' 17"	-91° 34' 27"	25 м	
VLBA Owens Valley, CA	37° 13' 54"	-118° 16' 37"	40 м, 5 × 2 м, 8 × 2 м, 2 × 27 м	

³ В этом столбце "X м" означает антенну диаметром X метров, а "Y × X м" означает Y антенн диаметром X метров.

Страна	Название	Северная широта	Восточная долгота	Размер антенны ³
	VLBA Pie Town, NM	34° 18' 04"	-108° 07' 09"	25 м
	VLBA St. Croix, VI	17° 45' 24"	-64° 35' 01"	25 м

Район 3

Страна	Название	Северная широта	Восточная долгота	Размер антенны ⁴
Австралия	Parkes	-33° 00' 00"	148° 15' 44"	64 м
	Katherine	-14° 22' 30"	132° 09' 07"	12 м
	Mopra	-31° 16' 04"	149° 05' 58"	22 м
	ATCA (Narrabri)	-30° 18' 47"	149° 33' 52"	6 × 22 м
	Tidbinbilla	-35° 24' 18"	148° 58' 59"	70 м, 34 м
	Hobart (Mt. Pleasant)	-42° 48' 18"	147° 26' 21"	26 м, 12 м
	Ceduna	-31° 52' 05"	133° 48' 37"	30 м
Yarragadee	-29° 02' 47"	115° 20' 48"	12 м	
Китай	Miyun	40° 33' 29"	116° 58' 37"	50 м
	Sheshan	31° 05' 58"	121° 11' 59"	25 м, 13 м
	Nanshan	43° 28' 16"	87° 10' 40"	26 м; 13,2 м
	Tianma	31° 05' 13"	121° 08' 00"	65 м, 13 м
	CSRH	42° 12' 31"	115° 14' 45"	60 × 2 м
	QTT	43° 36' 04"	89° 40' 57"	110 м
Франция	Tahiti	-17° 31' 05"	-149° 26' 13"	12 м
Япония	Nobeyama	35° 56' 40"	138° 28' 21"	45 м
	VERA-Mizusawa	39° 08' 01"	141° 07' 57"	20 м, 10 м
	VERA-Iriki	31° 44' 52"	130° 26' 24"	20 м
	VERA-Ogasawara	27° 05' 31"	142° 13' 00"	20 м
	VERA-Ishigakijima	24° 24' 44"	124° 10' 16"	20 м
	Ishioka	36° 12' 33"	140° 13' 08"	13,2 м
	Kashima	35° 57' 21"	140° 39' 36"	34 м
	Usuda	36° 07' 57"	138° 21' 46"	64 м
	Ibaraki	36° 41' 51"	140° 41' 32"	32 × 2 м
	Gifu	35° 28' 03"	136° 44' 14"	11 м
	Yamaguchi	34° 12' 58"	131° 33' 26"	32 м
	Tsukuba-NICT	36° 03' 33"	140° 08' 05"	1,6 м
Koganei-NICT	35° 42' 37"	139° 29' 17"	2,4 м; 11 м	
Корея	KSWC (Jeju)	33° 25' 40"	126° 17' 45"	1,8 м
	SGOC (Sejong)	36° 31' 22"	127° 18' 12"	22 м
	K-SRBL	36° 23' 54"	127° 22' 31"	2.1 м
	KVN-Yonsei	37° 33' 55"	126° 56' 27"	21 м
	KVN-Ulsan	35° 32' 44"	129° 14' 59"	21 м

⁴ В этом столбце "X м" означает антенну диаметром X метров, а "Y × X м" означает Y антенн диаметром X метров.

Страна	Название	Северная широта	Восточная долгота	Размер антенны ⁴
	KVN-Tamna	33° 17' 21"	126° 27' 34"	21 м
Новая Зеландия	Warkworth	-36° 25' 59"	174° 39' 52"	30 м, 12 м
