

## РЕКОМЕНДАЦИЯ МСЭ-R RS.1632

**Совместное использование частот в полосе 5250–5350 МГц системами спутниковой службы исследования Земли (активной) и системами беспроводного доступа (включая локальные вычислительные радиосети) подвижной службы**

(Вопрос МСЭ-R 218/7)

(2003)

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

*учитывая,*

- a) что полоса частот 5250–5350 распределена спутниковой службе исследования Земли (ССИЗ) (активной) и радиолокационной службе на первичной основе;
- b) что некоторые администрации предложили использовать полосу частот 5250–5350 МГц для маломощных высокоскоростных беспроводных локальных вычислительных сетей (WLAN) или беспроводных локальных вычислительных радиосетей (RLAN);
- c) что эти высокоскоростные WLAN предлагается развертывать в данной полосе частот как нелицензируемые устройства, что делает невозможным регламентарное управление их развертыванием,

*признавая,*

- a) что в МСЭ-R продолжаются исследования с целью улучшения совместного использования частот системами беспроводного доступа (включая RLAN) и ССИЗ (активной),

*отмечая,*

- a) что некоторые администрации приняли технические ограничения, позволяющие использование систем беспроводного доступа (включая RLAN) при ограничении уровня э.и.и.м. до 1 Вт, в то время как другие администрации приняли более жесткие ограничения э.и.и.м.,

*рекомендует,*

**1** что совместное использование частот космическими активными датчиками службы ССИЗ с характеристиками, приведенными в Приложении 1, и высокоскоростными сетями WLAN в полосе 5250–5350 МГц возможно, если в системах беспроводного доступа (включая RLAN) соблюдаются ограничения, указанные в Приложении 2;

**2** что необходимый для систем ССИЗ уровень защиты, указанный в Приложении 1, может быть достигнут при использовании альтернативных наборов эксплуатационных и технических ограничений, исследуемых согласно пункту а) раздела *признавая*.

## Приложение 1

### Технические характеристики космических активных датчиков в полосе частот 5250–5570 МГц

Технические характеристики космических активных датчиков в диапазоне частот 5,3 ГГц приведены в таблицах 1 и 2.

ТАБЛИЦА 1

Типичные характеристики космических радаров для получения изображений,  
работающих в диапазоне 5,3 ГГц

Параметр	Значение			
	SAR1	SAR2	SAR3	SAR4
Высота орбиты (км)	426 (круговая)	600 (круговая)	400 (круговая)	400 (круговая)
Наклонение орбиты (градусы)	57	57	57	57
Центральная радиочастота (МГц)	5 305	5 405	5 405	5 300
Пиковая излучаемая мощность (Вт)	4,8	4 800	1 700	1 700
Поляризация	Горизонтальная (HH)	Горизонтальная и вертикальная (HH, HV, VH, VV)	Горизонтальная и вертикальная (HH, HV, VH, VV)	Горизонтальная и вертикальная (HH, HV, VH, VV)
Импульсная модуляция	Импульс с линейной ЧМ	Импульс с линейной ЧМ	Импульс с линейной ЧМ	Импульс с линейной ЧМ
Ширина полосы импульса (МГц)	8,5	310	310	40
Длительность импульса (мкс)	100	31	33	33
Частота повторения импульсов (импульс/с)	650	4 492	1 395	1 395
Коэффициент заполнения (%)	6,5	13,9	5,9	5,9
Коэффициент сжатия диапазона	850	9 610	10 230	1 320
Тип антенны (м)	Плоская фазовая антенная решетка 0,5 × 16,0	Плоская фазовая антенная решетка 1,8 × 3,8	Плоская фазовая антенная решетка 0,7 × 12,0	Плоская фазовая антенная решетка 0,7 × 12,0

ТАБЛИЦА 1 (окончание)

Параметр	Значение			
	SAR1	SAR2	SAR3	SAR4
Пиковое усиление антенны (дБи)	42,2	42,9	42,7/38 (полный фокус/подавление луча)	42,7/38 (полный фокус/подавление луча)
Медианное усиление бокового лепестка антенны (дБи)	-5	-5	-5	-5
Ориентация антенны (градусы от надира)	30	20-38	20-55	20-55
Ширина луча антенны (градусы)	8,5 (Угол места), 0,25 (Азимут)	1,7 (Угол места), 0,78 (Азимут)	4,9/18,0 (Угол места), 0,25 (Азимут)	4,9/18,0 (Угол места), 0,25 (Азимут)
Поляризация антенны	Линейная горизонтальная/ вертикальная	Линейная горизонтальная/ вертикальная	Линейная горизонтальная/ вертикальная	Линейная горизонтальная/ вертикальная
Сжатие сигнала в 1 дБ на выходе входных блоков приемника относительно входного сигнала (дБВт)	-62 по входу	-62 по входу	-62 по входу	-62 по входу
Допустимая плотность насыщения сигнала на входе приемника	-114/-54 дБВт вход при усилении приемника 71/11 дБ	-114/-54 дБВт вход при усилении приемника 71/11 дБ	-114/-54 дБВт вход при усилении приемника 71/11 дБ	-114/-54 дБВт вход при усилении приемника 71/11 дБ
Допустимая максимальная мощность на входе приемника (дБВт)	+7	+7	+7	+7
Время работы (%)	30 от периода обращения	30 от периода обращения	30 от периода обращения	30 от периода обращения
Минимальное время получения изображения (с)	9	15	15	15
Зона обслуживания	Массивы суши и прибрежные зоны	Массивы суши и прибрежные зоны	Массивы суши и прибрежные зоны	Массивы суши и прибрежные зоны
Ширина полосы обзора (км)	50	20	16/320	16/320

ТАБЛИЦА 2

**Типичные характеристики космических радиолокационных альтиметров  
в диапазоне 5,3 ГГц**

<b>Характеристики космической программы Jason</b>	
Срок службы	5 лет
Высота	1347 км ± 15 км
Наклонение	66°
<b>Характеристики альтиметра Poseidon 2</b>	
Тип сигнала	Импульсная линейная ЧМ
Частота повторения импульсов (ЧПИ) в С-диапазоне	300 Гц
Длительность импульса	105,6 мкс
Несущая частота	5,3 ГГц
Ширина полосы частот	320 МГц
Пиковая мощность РЧ излучения	17 Вт
Средняя мощность РЧ излучения	0,54 Вт
Усиление антенны	32,2 дБи
Апертура по уровню 3 дБ	3,4°
Максимальный уровень бокового лепестка	-20 дБ
Максимальный уровень заднего лепестка	-40 дБ
Зона обслуживания луча по уровню -3 дБ	77 км
Пороговый уровень помех	-118 дБВт

ТАБЛИЦА 3

**Типичные характеристики космических рефлектометров в диапазоне 5,3 ГГц**

<b>Параметр</b>	<b>Значение</b>	
	Рефлектометр 1	Рефлектометр 2
Название системы	Рефлектометр 1	Рефлектометр 2
Высота орбиты (км)	780	800
Наклонение (градусы)	98,5	98,5
Центральная частота (ГГц)	5,3	5,255
Ширина импульса	70 мкс (середина) 130 мкс (фронт/спад)	8 мс (середина) 10,1 мс (фронт/спад)
Модуляция	Прерывистая незатухающая волна	Импульсная линейная ЧМ
Полосы пропускания передатчика (кГц)	15	500
ЧПИ (Гц)	115 (середина) 98 (фронт/спад)	29,4
Тип антенны	Щелевая волноводная	Щелевая волноводная

ТАБЛИЦА 3 (окончание)

Параметр	Значение	
Усиление антенны (дБи)	31 (середина) 32,5 (фронт/спад)	28,5 (середина) 29,5 (фронт/спад)
Ориентация основного луча антенны (градусы)	Углы падения: 18–47 (середина) 24–57 (фронт/спад)	Углы падения: 25,0–54,5 (середина) 33,7–65,3 (фронт/спад)
Ширина луча антенны (–3 дБ), угол места	24°                      26° (середина)              (фронт/спад)	23,6°                      23,9° (середина)              (фронт/спад)
Ширина луча по азимуту	1,3°                      0,8°	1,1°                      0,8°
Угол места аппаратуры (градусы)	29,3	37,6
Поляризация антенны	Вертикальная	Вертикальная
Пиковая мощность передатчика	4,8 кВт	120 Вт
Шумовая температура приемника (дБ)	Коэффициент шума: 3	Коэффициент шума: 3
Зона обслуживания	Океанские и прибрежные зоны, массивы суши	Океанские и прибрежные зоны, массивы суши

## Приложение 2

### Ограничения на совместное использование частот космическими активными датчиками и высокоскоростными сетями WLAN в полосе 5250–5350 МГц

#### 1 Введение

В данном Приложении представлены результаты трех анализов совместного использования частот в полосе 5250–5350 МГц космическими активными датчиками и высокоскоростными сетями WLAN или RLAN. В первом исследовании, рассмотренном в § 2 данного Приложения, использованы характеристики высококачественных сетей RLAN (HIPERLAN) типа 1 классов В и С и сетей HIPERLAN типа 2, а также характеристики радара с синтезированной апертурой SAR4. В этом исследовании показано, что совместная работа с радаром SAR4 возможна только для сетей HIPERLAN типа 1 класса В и сетей HIPERLAN типа 2 в полосе 5250–5350 МГц внутри помещений, в то время как совместная работа в указанной полосе невозможна для сетей HIPERLAN типа 1 класса С и для сетей HIPERLAN любого типа, предназначенных для работы вне помещений с техническими характеристиками, принятыми в данном исследовании.

Во втором исследовании, рассмотренном в § 3 данного Приложения, использованы сети RLAN трех типов (RLAN1, RLAN2 и RLAN3) и характеристики радаров SAR2, SAR3 и SAR4. В этом исследовании в отношении помех от одиночного передатчика, работающего вне помещения, показано, что помехи от передатчика высокоскоростной сети WLAN конфигурации RLAN1 были выше допустимого для SAR4 уровня, что помехи от передатчика высокоскоростной сети WLAN конфигурации RLAN2 были выше допустимого для SAR3 и SAR4 уровня, и что помехи от передатчика высокоскоростной сети WLAN конфигурации RLAN3 были выше допустимого для SAR4 уровня. При развертывании сетей RLAN вне и внутри помещений совместимость сетей RLAN1 с SAR2, SAR3 и SAR4 возможна при условии, что в зоне обслуживания SAR на 1 км<sup>2</sup> будет не более 12 активных передатчиков и в сети RLAN1 будет одночастотный канал.

Совместная работа невозможна для сети RLAN2 с SAR2, SAR3 и SAR4 в том случае, если в офисном пространстве будет 1200 активных передатчиков и 14 каналов в полосе шириной 300 МГц. Анализ показал, что при развертывании внутри помещения и с учетом помех радарам SAR от высокоскоростной сети WLAN в конфигурации RLAN3 любая плотность развертывания менее 37–305 передатчиков/км<sup>2</sup>/канал даст приемлемые уровни помех радарам SAR в зависимости от отношения сигнал/шум (S/N) для пикселя SAR, используемого для получения изображения. Как предполагается, ожидаемая средняя плотность составит 1200 передатчиков для большой офисной площади и 250 передатчиков в промышленной зоне. Для предполагаемой высокой плотности размещения принято 14 каналов шириной по 23,6 МГц каждый в полосе 330 МГц. В отношении помех радарам SAR от высокоскоростных сетей WLAN в конфигурации RLAN3 анализ показывает, что локальные сети ЛВС обеспечивают приемлемый уровень помех для SAR только при плотности размещения менее 518–4270 передатчиков на км<sup>2</sup> при 14 каналах. Применительно к помехам SAR2 и SAR4 от сети RLAN3 это будет соответствовать примерно 3–12 крупным офисным зданиям или 15–60 промышленным зонам в зоне обслуживания SAR в зависимости от отношения S/N для пикселя SAR.

В третьем исследовании, рассмотренном в § 4 данного Приложения, использованы более критичные характеристики сети HIPERLAN типа 1 для сетей RLAN и характеристики альтиметра, приведенные в таблице 2. При рабочей ширине полосы в 320 МГц в диапазоне 5,3 ГГц радарный альтиметр совместим с сетями HIPERLAN.

В четвертом исследовании, рассмотренном в § 5 данного Приложения, использованы характеристики сети HIPERLAN типа 2 для сетей RLAN и характеристики рефлектометра, приведенные в таблице 3. При работе рефлектометра в диапазоне около 5,3 ГГц обеспечивается его совместимость с сетями HIPERLAN внутри помещений.

## 2 Исследование сетей HIPERLAN типов 1 и 2 и радаров SAR

### 2.1 Технические характеристики двух систем

Технические характеристики сетей WLAN, использованные для анализа совместимости, соответствуют характеристикам сетей HIPERLAN типов 1 и 2, по которым Европейским институтом стандартизации электросвязи (ETSI) опубликованы соответствующие технические условия, а именно: EN 300 652 для типа 1 и TS 101 683 для типа 2. Величины других параметров, использованных при изучении (ослабление зданиями, эксплуатационный активный рабочий цикл, плотность сетей HIPERLAN и т. д.), согласованы в группе ERM ETSI для данных исследований в Европе.

#### *HIPERLAN мuna 1:*

Такие сети обеспечивают высокоскоростную связь RLAN, совместимую с проводными сетями ЛВС на основе стандартов ISO 8802.3 и ISO 8802.5 для сетей Ethernet и Token-ring.

#### Параметры HIPERLAN/1:

э.и.и.м. (высокая битовая скорость (HBR) в полосе 23,5 МГц, низкая битовая скорость (LBR) в полосе 1,4 МГц):

класс А: максимальная э.и.и.м. 10 дБм

класс В: максимальная э.и.и.м. 20 дБм

класс С: максимальная э.и.и.м. 30 дБм

Разнос между каналами: 30 МГц

Направленность антенны: всенаправленная

Минимальная полезная чувствительность приемника: -70 дБм

Мощность шума приемника (23,5 МГц): -90 дБм

Несущая/помеха (C/I) для BER  $10^{-3}$  в режиме HBR: 20 дБ

Эффективная дальность (класс C): 50 м.

В данном исследовании рассматриваются только классы В (максимальная э.и.и.м. 100 мВт) и С (максимальная э.и.и.м. 1 Вт).

#### *HIPERLAN мина 2:*

Такие сети обеспечивают высокоскоростную связь RLAN, совместимую с проводными сетями ЛВС на основе стандартов ATM и IP.

#### Параметры HIPERLAN/2:

э.и.и.м.: 0,2 Вт (в полосе 5250–5350 МГц)

Ширина полосы канала: 16 МГц

Разнос между каналами: 20 МГц

Направленность антенны: всенаправленная

Минимальная полезная чувствительность приемника: от -68 дБм (на 54 Мбит/с) до -85 дБм (на 6 Мбит/с)

Мощность шума приемника (16 МГц): -93 дБм

C/I: 8–15 дБ

Эффективная дальность: 30–80 м.

В европейских странах в полосе 5250–5350 МГц э.и.и.м. ограничена величиной 200 мВт и использование сетей HIPERLAN разрешено только при выполнении следующих обязательных требований:

- регулирование мощности передатчика (TPC) для обеспечения коэффициента ослабления помех не менее 3 дБ;
- динамический выбор частоты (DFS), связанный с механизмом выбора каналов, необходимый для обеспечения равномерного распределения нагрузки сетей HIPERLAN по полосе с минимальной шириной 330 МГц.

В настоящее время система HIPERLAN/1 не поддерживает эти два требования.

Динамический выбор частоты не только обеспечивает равномерное распределение нагрузки, но и позволяет обнаруживать в каждой системе HIPERLAN помехи от других систем и потому позволяет избежать работы в совмещенных каналах с другими системами, в частности, с радарными системами. Система определяет свободный для использования канал и автоматически подключается к нему. Это позволяет использовать большое число систем HIPERLAN в одном офисном помещении.

Необходимо отметить, что числа, указанные в сценариях развертывания, основаны на условии доступности всей полосы шириной в 330 МГц для сетей WLAN. При условии, что ширина полосы доступна в двух участках (5150–5350 МГц и 130 МГц выше частоты 5470 МГц) и с учетом разнеса между каналами, а также необходимости создания защитных полос на границах этих двух участков, принятое в данном исследовании число каналов равно 8 для сетей типа 1 и 14 для сетей типа 2.

Другие используемые в данном исследовании параметры HIPERLAN согласованы с ЕТСИ:

- среднее затухание в зданиях в направлении оборудования ССИЗ: 17 дБ;
- коэффициент активности: 5%;
- процент использования вне помещений: 15%;
- сценарии развертывания: 1200 систем для больших офисных зданий, 250 систем для промышленных зон.

Для космических активных датчиков взяты характеристики SAR, приведенные в Приложении 1 к данной Рекомендации. Радар типа SAR4 взят в качестве примера для анализа помех SAR от сети HIPERLAN, однако такие же результаты можно получить и для других типов. Для анализа помех HIPERLAN от SAR взяты радары SAR типов 2–4.

## 2.2 Анализ совместного использования частот (помехи SAR от WLAN)

Анализ совместного использования частот, приведенный в таблице 4 для трех рассматриваемых случаев, а именно: HIPERLAN типа 1 (класс В и класс С) и типа 2.

С учетом ожидаемой плотности размещения сетей HIPERLAN (1200 систем в крупном офисном здании и 250 для промышленных зон) варианты работы только вне помещений и при смешанном (вне и внутри помещений) не представляют собой возможные сценарии совместного использования частот для любого из трех рассматриваемых случаев.

При развертывании только внутри помещений совместное использование частот для системы с большой мощностью типа 1 класса С невозможна, в то время как проблема совместного использования частот для типа 1 класса В и для типа 2 требует дальнейшего рассмотрения.

Фактически предел в 440 систем, приведенный в таблице 4 для сетей типа 2 внутри помещений, относится только к одному каналу. С учетом указанного выше механизма выбора частоты DFS можно полагать, что системы HIPERLAN типа 2 можно распределить по 14 имеющимся каналам, что дает теоретический верхний предел в 6160 систем на площади 76,5 км<sup>2</sup> зоны обслуживания SAR. Для типа 1 класса В верхний предел равен 5208 системам.

ТАБЛИЦА 4

### Допустимая емкость активных HIPERLAN в каналах, совместно используемых с SAR4

Тип HIPERLAN	Тип 1/Класс В		Тип 1/Класс С		Тип 2	
	Значение	дБ	Значение	дБ	Значение	дБ
Максимальная мощность передачи (Вт)	0,1	-10	1	0	0,2	-7
Среднее влияние TPC	Нет данных		Нет данных			-3
Расстояние (км) и потери в свободном пространстве	425,7	-159,5	425,7	-159,5	425,7	-159,5
Дополнительные потери на трассе передачи (дБ):		0		0		0
– Только вне помещений		-17		-17		-17
– Только внутри помещений		-7,8		-7,8		-7,8
– Смешанный (15% вне помещений)						
Усиление антенны передатчика (дБ)		0		0		0



ТАБЛИЦА 4 (окончание)

Тип HIPERLAN	Тип 1/Класс В		Тип 1/Класс С		Тип 2	
	Значение	дБ	Значение	Параметр	Значение	дБ
Усиление антенны приемника (дБ)		42,7		42,7		42,7
Потери на поляризацию (дБ)		-3		-3		-3
Пороговый уровень помех SAR ( $I/N = -6$ дБ), (дБ(Вт/Гц))		-205,4		-205,4		-205,4
Принимаемая мощность (дБ(Вт/канал)) (канал: 23,5 МГц тип 1/16 МГц тип 2):						
- Только вне помещений		-129,8		-119,8		-129,8
- Только внутри помещений		-146,8		-136,8		-146,8
- Смешанный (15% вне помещений)		-137,6		-127,6		-137,6
Принимаемая мощность (дБ(Вт/Гц)):						
- Только вне помещений		-203,5		-193,5		-201,8
- Только внутри помещений		-220,5		-210,5		-218,8
- Смешанный (15% вне помещений)		-211,3		-201,3		-209,6
Запас дБ/(Гц <sup>-1</sup> ):						
- Только вне помещений		-1,9		-11,9		-3,6
- Только внутри помещений		15,1		5,1		13,4
- Смешанный (15% вне помещений)		5,9		-4,1		4,2
Зона обслуживания антенны SAR (км <sup>2</sup> )	76,5	18,8	76,5	18,8	76,5	18,8
Допустимая плотность активной HIPERLAN (/км <sup>2</sup> /канал):						
- Только вне помещений	0,0085	-20,7	0,00085	-30,7	0,0058	-22,4
- Только внутри помещений	0,43	-3,7	0,043	-13,7	0,29	-5,4
- Смешанный (15% вне помещений)	0,051	-12,9	0,0051	-22,9	0,034	-14,6
Коэффициент активности	5%	13	5%	13	5%	13
Допустимая общая (активная + пассивная) плотность HIPERLAN (/км <sup>2</sup> /канал):						
- Только вне помещений	0,17	-7,7	0,017	-17,7	0,11	-9,4
- Только внутри помещений	8,51	9,3	0,851	-0,7	5,75	7,6
- Смешанный (15% вне помещений)	1,02	0,1	0,102	-9,9	0,69	-1,6
Максимальное число активных + пассивных HIPERLAN на канал в зоне обслуживания SAR (76,5 км <sup>2</sup> ):						
- Только вне помещений	13		1		8	
- Только внутри помещений	651		65		440	
- Смешанный (15% вне помещений)	78		8		53	

Эти результаты соответствуют примерно пяти крупным офисным зданиям в зоне обслуживания SAR на площади 76,5 км<sup>2</sup>, и хотя этот случай далек от наихудшего, его можно считать обоснованным допущением для городских и пригородных зон.

Поэтому можно заключить, что, хотя и с небольшим запасом, эти две службы могут совместно использовать данную полосу частот, если системы HIPERLAN типа 2 или типа 1 класса В развернуты внутри помещений.

Механизм выбора DFS обеспечивает равномерное распределение нагрузки по имеющимся каналам. Если механизм выбора каналов основан не на произвольном выборе, то указанное выше исходное предположение будет, по-видимому, неточным, и выводы будут нуждаться в пересмотре.

### 2.3 Анализ совместного использования частот (помехи высокоскоростным сетям WLAN от SAR)

Первым этапом анализа возможности помех от космических SAR высокоскоростным WLAN является определение мощности сигнала в боковых лепестках космического SAR у поверхности Земли. В данном анализе использовалось медианное значение усиления бокового лепестка, поскольку зона обслуживания этих лепестков является значительно большей, чем для случая пикового усиления, и дает более длительные помехи. Затем определяется пороговый уровень помех для приемника высокоскоростной сети WLAN. После чего вычисляется запас по помехам путем сравнения порогового уровня помех SAR с пороговым уровнем помех сети ЛВС. В таблице 5 приведен порог помех для беспроводных высокоскоростных локальных сетей, развернутых вне помещений в полосе 5250–5350 МГц, от боковых лепестков SAR2–4. В этой таблице показан положительный запас, что соответствует положительному сценарию совместного использования частот.

ТАБЛИЦА 5

#### Влияние боковых лепестков SAR на высокоскоростные сети WLAN

Параметр	SAR2		SAR3		SAR4	
	Значение	дБ	Значение	дБ	Значение	дБ
Мощность передачи (Вт)	4800,00	36,81	1700,00	32,30	1700,00	32,30
Усиление антенны передатчика (дБ)	-5,00	-5,00	-5,00	-5,00	-5,00	-5,00
Усиление антенны приемника (дБ)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Длина волны (м)	$5,65 \times 10^{-2}$	-24,96	$5,65 \times 10^{-2}$	-24,96	$5,65 \times 10^{-2}$	-24,96
$(4\pi)^{-2}$	$6,33 \times 10^{-3}$	-21,98	$6,33 \times 10^{-3}$	-21,98	$6,33 \times 10^{-3}$	-21,98
Расстояние (км)	638,51	-116,10	425,67	-112,58	425,67	-112,58
Сужение полосы частот (дБ)	-12,87	-12,87	-12,87	-12,87	-3,98	-3,98
Принимаемая мощность (дБВт)		-144,11		-145,09		-136,20
Пороговый уровень помех HIPERLAN		-115,00		-115,00		-115,00
Запас (дБ)		29,11		30,09		21,20

Однако для SAR2–4 пиковые значения усиления антенны на 43–47,7 дБ выше средних уровней боковых лепестков, равных -5 дБ. Поэтому во время пролета спутника, длящегося примерно 0,5–1,0 с для основного лепестка SAR, уровень помех от SAR у поверхности Земли будет выше порогового уровня помех WLAN для наихудшего случая (для сети HIPERLAN типа 2 = -115 дБВт). Это показано в таблице 5 в виде отрицательного запаса.

Более точным способом определения максимально допустимого уровня помех будет учет отношения  $C/I$ , которое должно быть больше 15 дБ. Если передатчики сети RLAN находятся в пределах 50 м друг от друга (сценарий наихудшего случая), то уровень допустимых помех можно поднять на 10 дБ (-105 дБВт вместо -115 дБВт). Для SAR4 этот анализ дает запас для наихудшего случая, равный -16,5 дБ при расположении оборудования вне помещения. При

развертывании сетей RLAN внутри помещений (ослабление в 17 дБ) в данном анализе получается положительный сценарий совместного использования с очень малым запасом. Период повторного пролета для спутника SAR равен 8–10 суток, хотя SAR не обязательно будет работать на каждом витке. Поэтому данная зона на поверхности Земли будет облучаться основным лепестком одиночного SAR не более 0,5–1,0 с каждые 8–10 суток.

## 2.4 Заключение

В отношении помех датчикам SAR от сетей WLAN анализ дает три основных вывода для полосы 5250–5350 МГц:

- Сети WLAN, развернутые только внутри помещений, могут работать совместно с SAR, а при работе сетей WLAN вне помещений совместная работа с SAR невозможна.
- Сети WLAN со средней э.и.и.м., ограниченной величиной 200 мВт (или 100 мВт, если не используется режим TPC), при среднем пределе плотности э.и.и.м.<sup>1</sup>, равном 10 мВт в любой полосе шириной 1 МГц, совместимы с работой SAR.
- В дополнение к вышесказанному, в системах WLAN для обеспечения совместной работы с SAR необходимо соблюдение двух условий:
  - регулирование мощности передатчика для обеспечения коэффициента ослабления помех не менее 3 дБ; без использования регулирования TPC средняя э.и.и.м. не должна превышать 100 мВт в любом канале шириной 20 МГц;
  - использование системы DFS, относящейся к механизму выбора каналов, необходимое для обеспечения равномерного распределения нагрузки каналов сети WLAN по полосе минимум 330 МГц.

Анализ помех от SAR сетям WLAN дает положительные результаты при развертывании WLAN внутри помещений.

## 3 Исследования сетей RLAN и радаров SAR

### 3.1 Технические характеристики типовых высокоскоростных сетей WLAN

Технические характеристики типовых высокоскоростных WLAN в диапазоне 5,3 ГГц приведены для трех конфигураций. Эти высокоскоростные WLAN иногда именуется радиосетями ЛВС или RLAN. В данном анализе для конфигураций приняты такие характеристики, при которых приемникам SAR создаются наибольшие помехи. Информация для первой конфигурации (RLAN1) высокоскоростных WLAN взята из Отчета Федеральной комиссии связи США (ФКС) и Директивы ФКС 97-7 от 9 января 1997 года, а для сетей HIPERLAN – из Документа 7C/54 от 18 сентября 1996 года. Эти характеристики приведены в таблице 6. Информация для второй конфигурации (RLAN2) высокоскоростных WLAN взята из материалов Группы координации космических частот (SFCCG)-18/45, 8–17 сентября 1998 года. Вторая конфигурация, RLAN2, характеризуется заметным повышением мощности передатчиков высокоскоростных WLAN, увеличением соотношения использования сетей в помещениях и вне их, что ведет к меньшим величинам среднего ослабления зданиями, повышением коэффициента активности и ожидаемой

---

<sup>1</sup> Средняя э.и.и.м. означает э.и.и.м., усредненную по пакету передачи при максимальной установке регулирования мощности.

плотности развертывания. Информация по третьей конфигурации (RLAN3) высокоскоростных WLAN взята из материалов Группы координации космических частот (SFCG)-19/39, 8–15 сентября 1999 г. и документа 7C/110 "Ограничения при совместном использовании частот космическими активными датчиками (SAR) и беспроводными высокоскоростными локальными сетями в полосе 5250–5350 МГц" от 17 февраля 1999 года. Третья конфигурация, RLAN3, ограничена применением только внутри помещений с предполагаемой медианной плотностью развертывания.

ТАБЛИЦА 6

**Технические характеристики высокоскоростных сетей WLAN в диапазоне 5,3 ГГц**

Параметр	Значение		
	RLAN1	RLAN2	RLAN3
Пиковая излучаемая мощность (Вт)	0,25	1,00	0,20
Развертывание (%)	99 в помещениях/ 1 вне помещений	85 в помещениях/ 15 вне помещений	100 в помещениях/ 0 вне помещений
Среднее ослабление (дБ)	17,0	7,8	17,0
Поляризация	Произвольная	Произвольная	Произвольная
Ширина полосы (МГц)	23,6	23,6/канал (14 каналов)	23,6/канал (14 каналов)
Коэффициенты заполнения помех для SAR (%)	100	100	100
Рабочая активность (коэффициент активности (%))	1	5	5
Средняя плотность (передатчиков/км <sup>2</sup> )	12	1200/офисная зона (89 000/км <sup>2</sup> /канал)	1200/офисная зона, 250/промышленная зона
Пороговый уровень помех (дБВт)	-120	-120 (будет уточнен)	-100

**3.2 Помехи SAR от высокоскоростных сетей WLAN**

Первым этапом анализа возможных помех от высокоскоростных сетей WLAN приемникам космических SAR является определение мощности сигнала от одиночного передатчика высокоскоростной сети WLAN, принимаемого космическим SAR. Затем можно вычислить запас по одиночному мешающему излучателю путем сравнения уровня помех с порогом помех SAR. Зная зону обслуживания SAR, можно вычислить допустимую плотность активных передатчиков сетей WLAN с использованием консервативного значения коэффициента активности для части передатчиков, работающих в какой-либо один и тот же период времени.

### 3.2.1 Помехи от одиночного передатчика сети RLAN, находящегося вне помещения

В таблице 7 представлены помехи от одиночного передатчика высокоскоростной сети RLAN в полосе 5250–5350 МГц для SAR2–4. Система SAR1 не используется, поскольку она предназначена для работы в полосе 5150–5250 МГц. В сетях RLAN1, RLAN2 и RLAN3 предполагается использование всенаправленной антенны. В таблице 7 показан отрицательный запас для передатчиков высокоскоростных сетей WLAN (RLAN1, RLAN2 и RLAN3) в отношении SAR4. Что касается SAR3, в таблице 7 показан положительный запас для передатчиков сетей RLAN1 и RLAN3 и отрицательный запас для сети RLAN2. Что касается SAR2 и помех от сетей RLAN1, RLAN2 и RLAN3, имеется положительный запас по помехам для передатчиков всех этих сетей.

ТАБЛИЦА 7

#### Помеха радарам SAR от одиночного передатчика RLAN вне помещения

Параметр	SAR2		SAR3		SAR4	
	Значение	дБ	Значение	дБ	Значение	дБ
Мощность передачи (Вт)						
RLAN1	0,25	–6,02	0,25	–6,02	0,25	–6,02
RLAN2	1,00	0,00	1,00	0,00	1,00	0,00
RLAN3	0,20	–6,99	0,20	–6,99	0,20	–6,99
Ослабление в зданиях (дБ)		0,00		0,00		0,00
Усиление антенны передатчика (дБ)		0,00		0,00		0,00
Усиление антенны приемника (дБ)		43,33		44,52		44,52
Потери на поляризацию (дБ)		–3,00		–3,00		–3,00
Длина волны (м)	$5,65 \times 10^{-2}$	–24,96	$5,65 \times 10^{-2}$	–24,96	$5,65 \times 10^{-2}$	–24,96
$(4\pi)^{-2}$	$6,33 \times 10^{-3}$	–21,98	$6,33 \times 10^{-3}$	–21,98	$6,33 \times 10^{-3}$	–21,98
Расстояние (км)	638,51	–116,10	425,67	–112,58	425,67	–112,58
Принимаемая мощность (дБВт)						
RLAN1		–128,74		–124,03		–124,03
RLAN2		–122,72		–118,00		–118,00
RLAN3		–129,71		–124,99		–124,99
Коэффициент шума (дБ)		4,62		4,62		4,62
$k T$	$4,00 \times 10^{-21}$	–203,98	$4,00 \times 10^{-21}$	–203,98	$4,00 \times 10^{-21}$	–203,98
Полоса пропускания приемника (МГц)	356,50	85,52	356,50	85,52	46,00	76,63
Мощность шума (дБВт)		–113,84		–113,84		–122,73
Пороговый уровень помехи SAR ( $I/N = -6$ дБ)		–119,84		–119,84		–128,73
Запас (дБ)						
RLAN1		8,90		4,19		–4,71
RLAN2		2,88		–1,83		–10,73
RLAN3		9,87		5,16		–3,74

### 3.2.2 Помехи от передатчиков сети RLAN, развертываемых внутри помещений

В таблице 8 приведена допустимая плотность высокоскоростных сетей WLAN с конфигурацией RLAN1 в полосе 5250–5350 МГц с учетом помех для SAR2–4. Что касается SAR4, в таблице 8 показано, что допустимая плотность высокоскоростных сетей WLAN с конфигурацией RLAN1 составит примерно 118 передатчиков на км<sup>2</sup>, ниже которой уровень помех для SAR4 в полосе 40 МГц приемлем. На основании информации об ожидаемой плотности развертывания сетей HIPERLAN из Документа 7C/54 от 18 сентября 1996 года, средняя плотность таких сетей в Европе оценивалась на то время на уровне порядка 12 передатчиков/км<sup>2</sup>. Ожидается, что плотность в столичных и густонаселенных зонах будет выше средних значений. В таблице 9 приведена допустимая плотность сетей WLAN с конфигурацией RLAN2 в полосе 5250–5350 МГц с учетом помех для SAR2–4. Что касается SAR4, в таблице 9 показано, что допустимая плотность сетей WLAN с конфигурацией RLAN2 составит примерно 0,2 передатчика/км<sup>2</sup>, или эквивалентно – 1 передатчик на 5 км<sup>2</sup>, ниже которой уровень помех для SAR4 в полосе 40 МГц приемлем. Эту низкую допустимую плотность следует сравнить с ожидаемой плотностью развертывания из Документа SFCG-18/45, 8–17 сентября 1998 года, равной 1200 передатчиков на офисную зону; имеется также сеть RLAN2, развертываемая в помещениях, с емкостью  $89 \times 10^3$ /км<sup>2</sup>/канал при расстояниях разноса около 0,5 м. При такой ожидаемой высокой плотности будут использоваться 14 каналов шириной по 23,6 МГц каждый в полосе 330 МГц. В таблице 10 показана допустимая плотность высокоскоростных сетей WLAN с конфигурацией RLAN3 в полосе 5250–5350 МГц с учетом помех для SAR2–4. Что касается SAR4, в таблице 10 показано, что плотность сетей WLAN с конфигурацией RLAN3 составит примерно 37 передатчиков/км<sup>2</sup>/канал, ниже которой уровень помех для SAR4 с полосой 40 МГц приемлем. При такой ожидаемой высокой плотности будут использоваться 14 каналов шириной по 23,6 МГц каждый в полосе 330 МГц. Тогда для 14 каналов допустимая плотность составит 518 передатчиков/км<sup>2</sup>. Эту низкую допустимую плотность следует сравнить с ожидаемой плотностью развертывания из Документа 7C/110, составляющей 1200 передатчиков на крупную офисную зону и 250 передатчиков на промышленную зону. Таким образом, что касается SAR4, допустимая плотность будет меньше, чем для одной крупной офисной зоны и примерно двух промышленных зон, что представляется нереальным. Что касается SAR2 и SAR4, допустимая плотность при 14 каналах будет 4270 и 3990 передатчиков, соответственно. Это соответствует примерно трем крупным офисным зданиям или 15 промышленным зонам, что можно считать несколько более реалистичным допущением для городских и пригородных зон.

Для SAR, используемых для получения изображений, при  $S/N = 8$  дБ или более отношение  $I/N$  может быть равно 0 дБ без снижения стандартного отклонения мощности пиксела более чем на 10%. Это повышает допустимую плотность размещения передатчиков в 4 раза. Для помех SAR2 и SAR4 от сети RLAN3 это будет соответствовать примерно 12 крупным офисным зданиям или 60 промышленным зонам в зоне обслуживания SAR. Однако для интерферометрических SAR отношение  $I/N$  должно быть ниже –6 дБ независимо от величины  $S/N$ .

ТАБЛИЦА 8

## Помехи датчикам SAR от высокоскоростных сетей WLAN типа RLAN1

Параметр	SAR2		SAR3		SAR4	
	Значение	дБ	Значение	дБ	Значение	дБ
Мощность передачи (Вт)	0,25	-6,02	0,25	-6,02	0,25	-6,02
Ослабление в зданиях (дБ)		-17,00	17,00	-17,00	17,00	-17,00
Усиление передающей антенны (дБ)		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Усиление приемной антенны (дБ)		43,33	44,52	44,52	44,52	44,52
Потери на поляризацию (дБ)		-3,00	3,00	-3,00	3,00	-3,00
Длина волны (м)	$5,65 \times 10^{-2}$	-24,96	$5,65 \times 10^{-2}$	-24,96	$5,65 \times 10^{-2}$	-24,96
$(4\pi)^{-2}$	$6,33 \times 10^{-3}$	-21,98	$6,33 \times 10^{-3}$	-21,98	$6,33 \times 10^{-3}$	-21,98
Расстояние (км)	638,51	-116,10	425,67	-112,58	425,67	-112,58
Принимаемая мощность (дБВт)		-145,74		-141,03		-141,03
Коэффициент шума (дБ)		4,62	4,62	4,62	4,62	4,62
$k T$	$4,00 \times 10^{-21}$	-203,98	$4,00 \times 10^{-21}$	-203,98	$4,00 \times 10^{-21}$	-203,98
Полоса пропускания приемника (МГц)	356,50	85,52	356,50	85,52	46,00	76,63
Мощность шума (дБВт)		-113,84		-113,84		-122,73
Пороговый уровень помехи SAR ( $I/N = -6$ дБ)		-119,84		-119,84		-128,73
Запас (дБ)		25,90		21,19		12,29
Зона обслуживания SAR (км <sup>2</sup> )	159,03	22,01	57,55	17,60	57,55	17,60
Средняя мощность у поверхности Земли для сетей HIPERLAN (дБ(Вт/км <sup>2</sup> ))		3,88		3,59		-5,31
Активных передатчиков/км <sup>2</sup>	9,78		9,14		1,18	
Активных передатчиков/км <sup>2</sup> при коэффициенте активности 1%	978,40		913,56		117,88	

ТАБЛИЦА 9

## Помехи датчикам SAR от высокоскоростных сетей WLAN типа RLAN2

Параметр	SAR2		SAR3		SAR4	
	Значение	дБ	Значение	дБ	Значение	дБ
Мощность передачи (Вт)	1,00	0,00	1,00	0,00	1,00	0,00
Ослабление в зданиях (дБ)		-7,80	7,80	-7,80	7,80	-7,80
Усиление передающей антенны (дБ)		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Усиление приемной антенны (дБ)		43,33	44,52	44,52	44,52	44,52
Потери на поляризацию (дБ)		-3,00	3,00	-3,00	3,00	-3,00
Длина волны (м)	$5,65 \times 10^{-2}$	-24,96	$5,65 \times 10^{-2}$	-24,96	$5,65 \times 10^{-2}$	-24,96
$(4\pi)^{-2}$	$6,33 \times 10^{-3}$	-21,98	$6,33 \times 10^{-3}$	-21,98	$6,33 \times 10^{-3}$	-21,98
Расстояние (км)	638,51	-116,10	425,67	-112,58	425,67	-112,58
Принимаемая мощность (дБВт)		-130,52		-125,80		-125,80
Коэффициент шума (дБ)		4,62	4,62	4,62	4,62	4,62
$k T$	$4,00 \times 10^{-21}$	-203,98	$4,00 \times 10^{-21}$	-203,98	$4,00 \times 10^{-21}$	-203,98
Полоса пропускания приемника (МГц)	356,50	85,52	356,50	85,52	46,00	76,63
Мощность шума (дБВт)		-113,84		-113,84		-122,73
Пороговый уровень помехи SAR ( $I/N = -6$ дБ)		-119,84		-119,84		-128,73
Запас (дБ)		10,68		5,97		-2,93
Зона обслуживания SAR (км <sup>2</sup> )	159,03	22,01	57,55	17,60	57,55	17,60
Средняя мощность у поверхности Земли для сетей HIPERLAN (дБ(Вт/км <sup>2</sup> ))		-11,34		-11,63		-20,53
Активных передатчиков/км <sup>2</sup>	0,07		0,07		0,01	
Активных передатчиков/км <sup>2</sup> при коэффициенте активности 5%	1,47		1,37		0,18	

Что касается самоограничивающейся плотности размещения, при которой близко расположенные высокоскоростные сети WLAN создают взаимные помехи, для сети RLAN3 предполагается, что высокоскоростные сети WLAN занимают 14 каналов по 23,6 МГц каждый в полосе 330 МГц при расстоянии между передатчиками 0,5 м, что дает возможную плотность  $89 \times 10^3/\text{км}^2/\text{канал}$  в небольших зонах, соответствующих крупной офисной зоне. Для приемника сети ЛВС уже не требуется, чтобы помехи были ниже -100 дБВт, но при этом отношение  $C/N$  должно быть больше 20 дБ. Это позволяет использовать передатчики на расстоянии 0,5 м друг от друга без взаимных помех.



ТАБЛИЦА 10

## Помехи датчикам SAR от высокоскоростных сетей WLAN типа RLAN3

Параметр	SAR2		SAR3		SAR4	
	Значение	дБ	Значение	дБ	Значение	дБ
Мощность передачи (Вт)	0,20	-6,99	0,20	-6,99	0,20	-6,99
Ослабление в зданиях (дБ)		-17,00		-17,00		-17,00
Усиление передающей антенны (дБ)		0,00		0,00		0,00
Усиление приемной антенны (дБ)		43,33		44,52		44,52
Потери на поляризацию (дБ)		-3,00		-3,00		-3,00
Длина волны (м)	$5,65 \times 10^{-2}$	-24,96	$5,65 \times 10^{-2}$	-24,96	$5,65 \times 10^{-2}$	-24,96
$(4\pi)^{-2}$	$6,33 \times 10^{-3}$	-21,98	$6,33 \times 10^{-3}$	-21,98	$6,33 \times 10^{-3}$	-21,98
Расстояние (км)	638,51	-116,10	425,67	-112,58	425,67	-112,58
Принимаемая мощность (дБВт)		-146,71		-141,99		-141,99
Коэффициент шума (дБ)		4,62		4,62		4,62
$k T$	$4,00 \times 10^{-21}$	-203,98	$4,00 \times 10^{-21}$	-203,98	$4,00 \times 10^{-21}$	-203,98
Полоса пропускания приемника (МГц)	356,50	85,52	356,50	85,52	46,00	76,63
Мощность шума (дБВт)		-113,84		-113,84		-122,73
Пороговый уровень помехи SAR ( $I/N = -6$ дБ)		-119,84		-119,84		-128,73
Запас (дБ)		26,87		22,16		13,26
Зона обслуживания SAR (км <sup>2</sup> )	159,03	22,01	57,55	17,60	57,55	17,60
Средняя мощность у поверхности Земли для сетей HIPERLAN (дБ(Вт/км <sup>2</sup> ))		4,85		4,56		-4,34
Активных передатчиков/км <sup>2</sup> /канал	15,29		14,27		1,84	
Активных передатчиков/км <sup>2</sup> /канал при коэффициенте активности 5%	305,75		285,49		36,84	

## 3.3 Помехи от радаров SAR высокоскоростным сетям WLAN

Первым этапом анализа возможности помех от космических SAR высокоскоростным сетям WLAN является определение мощности сигнала от космического SAR у поверхности Земли. Затем определяется порог приемника высокоскоростной сети WLAN. После этого можно вычислить запас по помехам путем сравнения уровня помех SAR с порогом помех для сети ЛВС. Что касается SAR1–4, пиковые значения коэффициента усиления антенн будут на 40–50 дБ больше средних уровней боковых лепестков, равных –5 дБи. Поэтому во время пролета спутника, когда излучение основного лепестка SAR будет действовать в течение 0,5–1,0 с, уровень помех SAR у поверхности Земли будет намного больше порога помех для сети RLAN1. Однако, что касается сети RLAN2, максимально допустимым уровнем помех является не величина –120 дБВт, а отношение  $C/I$ , превышающее 20 дБ, что в случае расположения

передатчиков на расстоянии 0,5 м один от другого может превысить уровень допустимых помех на 50–80 дБ.

Ситуация для сети RLAN3 аналогична ситуации для сети RLAN2. Для типовых SAR2–4 пиковые коэффициенты усиления антенн на 14–38 дБ выше средних уровней боковых лепестков, равных –5 дБи. Поэтому в течение пролета спутника, продолжительность которого по основному лепестку SAR составит примерно 0,5–1,0 с, уровни помех от SAR у поверхности Земли будут заметно выше порога помех для сети RLAN3. Однако, что касается сети RLAN3, максимально допустимым уровнем помех является не величина –120 дБВт, а отношение  $C/I$ , превышающее 20 дБ, что в случае расположения передатчиков на расстоянии 0,5 м один от другого может превысить уровень допустимых помех на 50–80 дБ. Период повторного пролета SAR составляет 8–10 суток, хотя SAR необязательно будет активным на каждом повторном витке. Поэтому данная зона Земли будет облучаться лучом SAR не чаще 0,5–1,0 с каждые 8–10 суток.

### 3.4 Заключение

В данной Рекомендации проведен анализ возможных помех между высокоскоростными сетями WLAN с конфигурацией RLAN3 и космическими радаром с синтезированной апертурой (SAR) в полосе 5250–5350 МГц для: 1) одиночного передатчика сетей RLAN1–3, развернутого вне помещения, и 2) плотности развертывания сети RLAN3 в помещении. Что касается одиночного передатчика, развернутого вне помещения, то помехи передатчика высокоскоростной сети WLAN с конфигурацией RLAN1 были выше приемлемого уровня для SAR4, помехи передатчика высокоскоростной сети WLAN с конфигурацией RLAN2 были выше приемлемого уровня для SAR3 и SAR4, а помехи передатчика высокоскоростной сети WLAN с конфигурацией RLAN3 были выше приемлемого уровня для SAR4.

В отношении помех радарам SAR от высокоскоростных сетей WLAN с конфигурацией RLAN1, анализ показывает, что при любой плотности на поверхности Земли ниже 32–128 передатчиков/км<sup>2</sup> уровни помех для SAR будут приемлемыми, в зависимости от отношения  $S/N$  для пиксела SAR, используемого для получения изображения. Ожидаемая средняя плотность для Европы ранее оценивалась всего лишь как 12 передатчиков/км<sup>2</sup>. При плотности, составляющей 0,32 активных передатчиков/км<sup>2</sup> (плотность, равная 32 передатчикам/км<sup>2</sup> при коэффициенте активности 1%), в типичной высокоскоростной сети WLAN (мощность передатчика 0,25 Вт), развернутой вне помещений, будут возникать внутренние помехи на уровне –120 дБВт, что соответствует порогу помех высокоскоростных сетей WLAN с конфигурацией RLAN1. В отношении помех радарам SAR от высокоскоростных сетей WLAN с конфигурацией RLAN2, анализ показывает, что только при плотности на поверхности Земли ниже 0,2–1,5 передатчиков/км<sup>2</sup> сети ЛВС обеспечивают приемлемый уровень помех для SAR в зависимости от отношения  $S/N$  для пиксела SAR, используемого для получения изображения. Предполагаемая в настоящее время средняя плотность равна 1200 передатчиков в офисной зоне, т. е. около  $89 \times 10^3$ /км<sup>2</sup>/канал. Ожидаемая высокая плотность соответствует 14 каналам шириной 23,6 МГц каждый в полосе 330 МГц. Анализ показал, что при развертывании в помещении с учетом помех радарам SAR от высокоскоростных сетей WLAN с конфигурацией RLAN3 любая плотность размещения менее 37–305 передатчиков/км<sup>2</sup>/канал дает приемлемые уровни помех для SAR в зависимости от отношения  $S/N$  для пиксела SAR, используемого для получения изображения. Ожидаемая средняя плотность составляет, по оценкам, 1200 передатчиков в крупной офисной зоне и 250 передатчиков в промышленной зоне. Ожидаемая высокая плотность соответствует 14 каналам шириной 23,6 МГц каждый в полосе

330 МГц. В отношении помех радарам SAR от высокоскоростной сети WLAN с конфигурацией RLAN3, анализ показывает, что только при плотности размещения менее 518–4270 передатчиков/км<sup>2</sup> при 14 каналах сети ЛВС дают приемлемый уровень помех для SAR. Что касается помех для SAR2 и SAR4 от сети RLAN3, это будет соответствовать примерно 3–12 крупным офисным зданиям или 15–60 промышленным зонам в зоне обслуживания SAR в зависимости от отношения  $S/N$  для пиксела SAR, используемого для получения изображения.

Что касается помех от космических SAR высокоскоростным сетям WLAN с конфигурацией RLAN1 в полосе 5250–5350 МГц, уровни помех от боковых лепестков SAR у поверхности Земли на 14–38 дБ ниже порога помех для сети ЛВС. В отношении пиковых уровней помех от антенны SAR в течение пролета спутника, когда основной лепесток SAR пересекает данный пункт в течение примерно 0,5–1,0 с, уровни помех от SAR у поверхности Земли заметно превышают пороги помех для сети RLAN1 на 10–30 дБ. Однако для сетей RLAN2 и RLAN3 максимальными допустимыми уровнями помех являются не уровни –120 дБВт и –100 дБВт, соответственно, а отношение  $C/I$  более 20 дБ, что в случае расположения передатчиков на расстоянии 0,5 м друг от друга может повысить уровень допустимых помех на 50–80 дБ, так что излучение SAR даже в основном лепестке может оказаться ниже порога помех для сетей ЛВС. Поскольку период повторного пролета SAR составляет 8–10 суток и SAR необязательно будет активным в каждый повторный пролет, данная зона на поверхности Земли будет облучаться основным лепестком SAR не более 0,5–1,0 с каждые 8–10 суток.

## 4 Исследование сетей RLAN и альтиметров

### 4.1 Помехи альтиметрам от сетей RLAN

В данном анализе рассматривается одна сеть RLAN типа HIPERLAN в основном лепестке альтиметра.

Альтиметр работает в расширенной полосе 320 МГц, а в сетях HIPERLAN ширина полосы каналов, попадающих в полосу альтиметра, меняется в пределах от 16 МГц (тип 2) до 23,5 МГц (тип 1). Максимальная э.и.м. передачи ( $P_h G_h$ ) в сети HIPERLAN равна 30 дБм (тип 1) или 23 дБм (тип 2). Коэффициент усиления антенны альтиметра ( $G_\theta$ ) равен 32,2 дБ.  $G_a$  означает внеосевое усиление антенны в направлении сети HIPERLAN при дополнительных потерях на входе ( $L$ ) около 1 дБ. Антенна альтиметра размером 1,2 м наводится в точку надира. Расстояние от альтиметра до сети HIPERLAN обозначается как  $R$ .

Мощность сигналов от одной сети HIPERLAN, принимаемых альтиметром в опорном направлении радара SAR (т. е.  $G_a = G_\theta$ ), равна:

$$P_r = \frac{P_h G_h G_a \lambda^2}{(4\pi)^2 R^2 L} \quad (1)$$

Для более критичных параметров сети HIPERLAN типа 1 (см. § 2.2) значение  $P_r$  принимается равным –108,3 дБм.

Порог помех для альтиметра равен –88 дБм. Поэтому можно считать, что альтиметр может работать при одновременном функционировании нескольких сетей HIPERLAN, так как запас по помехам составляет 20,3 дБ. Кроме того, альтиметр предназначен в основном для измерений в зоне океанов и не обеспечивает получение точных данных, когда луч антенны направлен на обширные массивы суши. На основании данного анализа очевидно, что альтиметр может работать совместно с сетями HIPERLAN.

Для полноты картины можно вычислить допустимое число сетей HIPERLAN в зоне обслуживания SAR по уровню  $-3$  дБ, при котором альтиметр может работать при полете над сухопутной территорией. Методика такого расчета приведена в § 4.1.1 данной Рекомендации.

Проведенные расчеты показывают, что альтиметр может работать при помехах, создаваемых сетями HIPERLAN числом от 586 (вне помещений) до 4664 (внутри помещений). При этом имеется дополнительный запас, так как:

- не учтены потери на поляризацию и дополнительные потери на распространение сигналов (около 3 дБ);
- не учтены методы ослабления помех, например регулирование мощности передатчика (предполагается, что они дадут еще не менее 3 дБ);
- при моделировании было завышено усиление альтиметра в направлении устройств сети HIPERLAN.

Кроме того, ожидается, что, как правило, в диапазоне частот, где работают альтиметры, будут развертываться только системы HIPERLAN типа 2, что улучшает ситуацию вследствие меньшей максимальной э.и.и.м. (200 мВт).

Поэтому можно сделать вывод, что альтиметр может работать без помех от сетей HIPERLAN, когда он находится над океанами. Однако при работе над сушей ситуация будет зависеть от выбора окончательных параметров сети HIPERLAN. Ожидаемый запас может обеспечить совместимость даже тогда, когда альтиметры работают вблизи суши. Условия совместного использования частот будут гораздо более благоприятны при работе сетей HIPERLAN только типа 2 при их установке только в помещениях.

#### 4.1.1 Оценка числа сетей RLAN в зоне обслуживания альтиметра по уровню $-3$ дБ

В данном анализе используется одна сеть HIPERLAN типа 1, попадающая в основной лепесток альтиметра.

Альтиметр работает в расширенной полосе частот 320 МГц, а ширина полосы сетей HIPERLAN, находящихся в полосе частот альтиметра, составляет 23,5 МГц. Максимальная э.и.и.м. передачи ( $P_h G_h$ ) сети HIPERLAN равна 30 дБм. Коэффициент усиления антенны альтиметра ( $G_0$ ) равен 32,2 дБ, а  $G_a$  – внеосевое усиление антенны в направлении сети HIPERLAN при дополнительных потерях на входе ( $L$ ), равных 1 дБ. Антенна альтиметра размером 1,2 м наводится в точку надира. Расстояние от альтиметра до сети HIPERLAN обозначается как  $R$ .

Мощность сигналов, принимаемых альтиметром от одной сети HIPERLAN в опорном направлении радара SAR (т. е.  $G_a = G_0$ ), равна:

$$P_r = \frac{P_h G_h G_a \lambda^2}{(4\pi)^2 R^2 L} \quad (2)$$

В результате получаем значение  $P_r$ , равное  $-108,3$  дБм.



Таким образом совокупная мощность помех ( $I$ ) альтиметру от сети HIPERLAN определяется суммированием  $i$ -х составляющих мощности  $I_i$  в виде:

$$I(W) = \sum_i I_i = \sum_i N_i \cdot \frac{1e (e.i.r.p. / 10)}{(4\pi d_i f_0 / c)^2} \cdot G(\varphi_i), \quad (5)$$

где:

- e.i.r.p.: эффективная изотропно излучаемая мощность (дБВт)
- $d_i$ : расстояние между спутником и источником помех на Земле
- $f_0$ : центральная радиочастота
- $G(\varphi_i)$ : усиление приемной спутниковой антенны альтиметра, зависящее от угла надира ( $\varphi$ ), т. е. угла между подспутниковой точкой и рассматриваемой полосой.

Были выполнены численные расчеты, при которых была принята постоянная плотность мощности сети HIPERLAN на уровне земли на квадратный метр и усиление антенны альтиметра, меняющееся по формуле  $G_a = G_0 (\sin(\varphi)/\varphi)^2$ , где  $\varphi$  – угол между вертикалью и направлением от спутника на сеть HIPERLAN, что считается наихудшим случаем, поскольку лепесток антенны альтиметра будет значительно более узким.

Далее был вычислен интеграл мощности принятых сигналов на уровне альтиметра от зоны обслуживания по уровню  $-3$  дБ: средняя мощность, приемлемая для альтиметра, равна  $-60$  дБм/м<sup>2</sup> или  $0$  дБм/км<sup>2</sup> ( $D \times \text{э.и.и.м.}$ ).

Поскольку альтиметры направлены в точку надира, для расчета помех от сетей HIPERLAN, расположенных внутри помещений, включены дополнительные потери на трассе, составляющие  $20$  дБ (ослабление за счет крыш и потолков). При рассмотрении случая, когда сети HIPERLAN ограничены работой внутри помещений, считалось, что в любой момент времени  $1\%$  устройств сетей HIPERLAN работает вне помещений, что дает общий коэффициент дополнительного ослабления в  $17$  дБ. Для сетей HIPERLAN, которые разрешено использовать вне помещений, принято, что в любой момент времени  $15\%$  устройств работает вне помещений, что дает коэффициент дополнительного ослабления в  $8$  дБ. Для обоих случаев принято, что  $5\%$  устройств HIPERLAN одновременно работают на передачу.

ТАБЛИЦА 11

**Расчет числа терминалов в зоне обслуживания по уровню  $-3$  дБ**

	Внутри помещений	Вне помещений
Плотность мощности ( $D \times \text{э.и.и.м.}$ ) (дБм/км <sup>2</sup> )	0	0
э.и.и.м. (дБм)	30	30
Процент HIPERLAN, работающих вне помещений (%)	1	15
Дополнительный запас (дБ)	17	8
Активных терминалов/км <sup>2</sup>	0,05	0,063
Активных терминалов (%)	5	5
Число терминалов/км <sup>2</sup>	1,002	0,126
Число терминалов в зоне обслуживания по уровню $-3$ дБ	4664	586

Далее мы определили предел, равный количеству сетей HIPERLAN от 586 (вне помещений) до 4664 (в помещениях), развернутых в зоне обслуживания по уровню  $-3$  дБ, при которых альтиметр может не испытывать помех.

## 4.2 Помехи сетям RLAN от альтиметров

В данном случае рассматривался коэффициент сужения полосы ( $B_h/B_a$ ), поскольку полоса пропускания альтиметра ( $B_a$ ) значительно шире полосы частот сетей HIPERLAN ( $B_h$ ); при этом  $B_a = 320$  МГц, а  $B_h = 23,5$  МГц (тип 1, наихудший случай) или 16 МГц (тип 2), поэтому определено, что коэффициент сужения равен 11,34 дБ для типа 1 и 13 дБ для типа 2. Коэффициент усиления антенн сети HIPERLAN ( $G_h$ ) в вертикальном направлении равен 0 дБ.

Мощность сигналов альтиметра, принимаемых одним устройством HIPERLAN, определяется как:

$$P_r = \frac{P_a G_a G_h \lambda^2 B_h}{(4\pi)^2 R^2 L B_a} \quad (6)$$

При этом мощность передачи альтиметра в направлении сети HIPERLAN будет в наихудшем случае (например, при облучении основным лепестком альтиметра, наименьшем расстоянии 1347 км и для сетей HIPERLAN типа 1 вне помещений) равна  $-103,64$  дБм.

Такой случай (излучение основного лепестка альтиметра в направлении боковых лепестков сети HIPERLAN по вертикали) следует рассматривать как наихудший, поскольку уровни лепестков альтиметра снижаются очень быстро с увеличением угла опорного направления (эти уровни равны  $-20$  дБ для угла  $4^\circ$  от надира и  $-40$  дБ для угла  $15^\circ$ ).

Проведенные расчеты показывают, что запас для наиболее критичного случая (тип 1) равен 10 дБ; поэтому можно считать, что альтиметр не создаст помех сетям HIPERLAN. В случае работы сети HIPERLAN типа 2 внутри помещений ситуация становится еще более благоприятной. Кроме того, в альтиметре используется импульсный радар. Возникающие при этом дополнительные запасы (за счет небольшого коэффициента заполнения импульсов, дополнительных поляризационных потерь и потерь на трассе распространения), не учитывались.

## 4.3 Заключение

Сделан вывод, что радарный альтиметр, работающий в диапазоне около 5,3 ГГц с шириной полосы 320 МГц, совместим с сетями RLAN. Более высокий запас по помехам имеет место для сетей RLAN с характеристиками, аналогичными параметрам сети HIPERLAN типа 2. Ожидается, что именно такие сети RLAN будут применяться в полосах, где работают альтиметры. Совместимость сетей RLAN с альтиметрами будет, по-видимому, возможна также и в полосе выше 5460 МГц.

## 5 Исследования сетей RLAN и рефлектометров

В настоящее время рефлектометры часто используются для зондирования суши, а в ближайшем будущем при повышении разрешающей способности таких приборов ожидается расширение сферы использования систем рефлектометров для зондирования суши. Поэтому проведенный анализ помех не ограничивался лишь прибрежными зонами, и его можно считать глобальным.

### 5.1 Помехи рефлектометрам от сетей RLAN

В системах рефлектометров мощность отраженного эхо-сигнала оценивается путем измерения мощности "сигнал + шум" (т. е. отраженный эхо-сигнал плюс составляющая шумов системы) с последующим вычитанием мощности "только шума" (оценка шумов собственно системы или "минимального уровня шума"). Для оптимизации эксплуатационных характеристик системы уровни мощности "сигнал + шум" и "только шум" измеряются в разных полосах частот и/или в разное время. Такой подход обусловлен тем, что номинальный шум системы по существу является в процессе измерений белым (стационарным с равномерным распределением спектральной мощности).

Отсюда возможны два разных сценария помех. В одном случае помехи, т. е. белый непрерывный шум, постоянно создаются в процессе измерений. В другом случае помехи возникают только в одном из двух измерений вследствие движения спутника (смещение зоны обслуживания одной из антенн с веерным лучом) или прерываний в сигнале источника помехи. Могут также оказать влияние методы измерения, применяемые в рассматриваемых рефлектометрах.

В качестве минимального критерия качества работы рефлектометров определена скорость ветра, равная 3 м/с. При такой скорости ветра сигнал отражается на минимальном уровне и поэтому становится максимально чувствительным к шумам или помехам. Расчетную ошибку, определяемую вторым сценарием помех, можно представить, используя параметрическую величину  $\alpha$ , которая имеет типовое значение для антенн с веерным лучом ( $\alpha = 0,7$  дБ) и равна (согласно Рекомендации МСЭ-R SA.1166):

$$\alpha(\text{дБ}) = 10 \log \{ [N + (I_{s+n}/B_{s+n})] / [N + (I_n/B_n)] \}, \quad (7)$$

где:

$N$ : номинальная плотность мощности минимального уровня шума (примерно  $-201$  дБ(Вт/Гц) на входе приемника рефлектометра для антенн с веерным лучом)

$B_{s+n}$ : ширина полосы измерения "сигнал + шум"

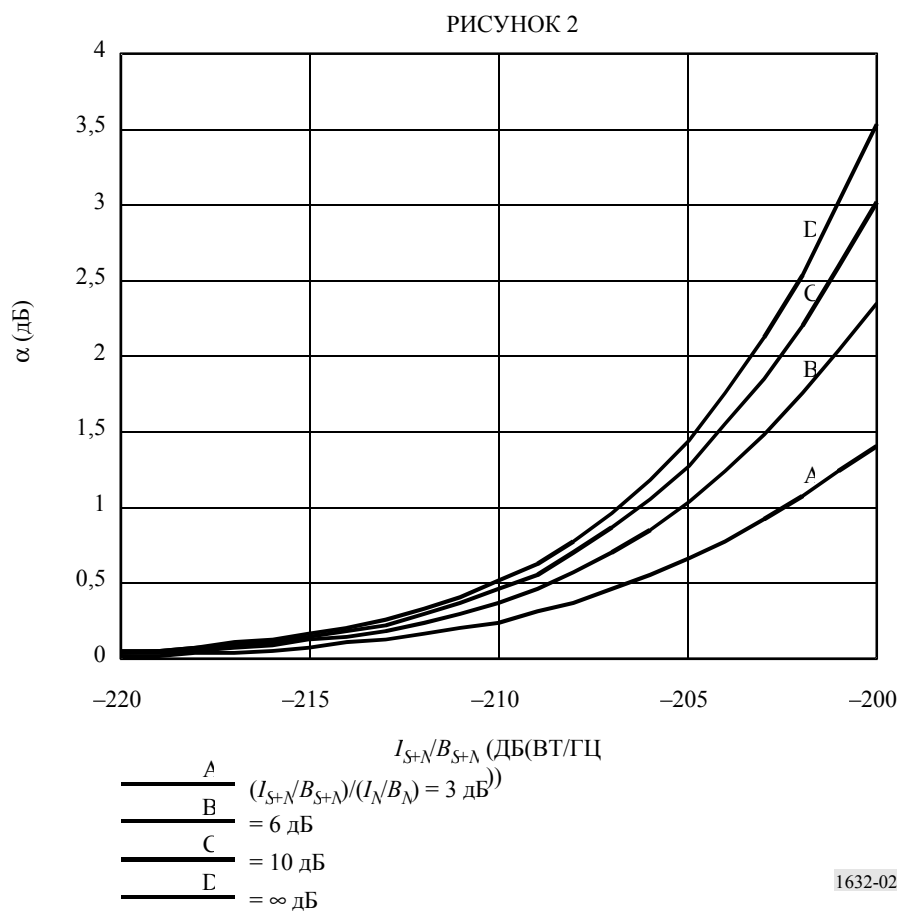
$B_n$ : ширина полосы измерения "только шум"

$I_{s+n}$ : средняя мощность сигнала источника помех в полосе  $B_{s+n}$  во время измерения величины "сигнал + шум"

$I_n$ : средняя мощность сигнала источника помех в полосе  $B_s$  во время измерения величины "только шум".



На рисунке 2 приведен график уравнения (1) для рефлектометра с минимальным уровнем шума приемника  $N = -201$  дБ(Вт/Гц). На графике величина  $\alpha$  показана в зависимости от спектральной плотности мощности мешающего сигнала  $I_{S+n}/B_{S+n}$ . В связи с очень малой шириной веерного луча следует ожидать изменений в несколько дБ в уровнях принимаемых помех по мере перемещения боковых лепестков рефлектометра в луче мешающего передатчика. Технический расчет дал величину 6 дБ для максимального ожидаемого изменения в  $10 \log [(I_{S+n}/B_{S+n})/(I_n/B_n)]$  в период измерений. Поэтому на основании рисунка 2 можно прийти к выводу, что максимальная спектральная мощность помех, приемлемая для любой антенны рефлектометра с веерным лучом без снижения точности измерений, равна  $-207$  дБ(Вт/Гц).



Максимальная приемлемая спектральная мощность помех типа непрерывного белого шума на входе приемника будет равна примерно  $-195$  дБ(Вт/Гц).

В качестве RLAN в данном анализе использована стандартная сеть HIPERLAN типа 2 (параметры приведены в § 2.2). Наиболее жесткий уровень приемлемых помех для приемника рефлектометра равен  $-207$  дБ(Вт/Гц). В рефлектометре 1 принят коэффициент усиления антенны, равный 31 дБи в полосе 650 км перпендикулярно трассе, соответствующей потерям в свободном пространстве 167,3 дБ.

Мощность принимаемого рефлектометром от одной сети HIPERLAN сигнала можно записать в виде:

$$(P_r)_{\text{дБ}} = (P_h)_{\text{дБ}} - LFS + (G_s)_{\text{дБ}} - 3. \quad (8)$$

Отсюда мы получаем величину для  $P_r$ , равную  $-149,3$  дБ в полосе шириной 16 МГц, что соответствует  $-221,3$  дБ(Вт/Гц). Это дает запас в 14,3 дБ. Следовательно, можно заключить, что излучения от одной сети HIPERLAN/2 не причиняют вредных помех приемнику рефлектометра. Кроме того, как показано в таблице 12, рефлектометры совместимы с сетями RLAN высокой плотности развертывания, особенно когда сети RLAN развернуты внутри помещений.

ТАБЛИЦА 12

**Допустимая емкость активной сети HIPERLAN/2, использующей частоты совместно с рефлектометром 1**

Тип развертывания	Только вне помещений	Только внутри помещений	Смешанный (15% вне помещений)
Мощность передачи (дБВт)	-10	-10	-10
Потери при распространении в свободном пространстве (дБ)	-167,3	-167,3	-167,3
Усиление антенны приемника (дБи)	31	31	31
Потери на поляризацию (дБ)	-3	-3	-3
Дополнительные потери на трассе (дБ)	0	-17	-7,8
Принимаемая мощность (дБ(Вт/канал))	-149,3	-166,3	-157,1
Принимаемая мощность (дБ(Вт/Гц))	-221,3	-238,3	-229,1
Пороговый уровень помех рефлектометра	-207	-207	-207
Запас (дБ/Гц)	14,3	31,3	22,1
Коэффициент активности (5%)	13	13	13
Общее допустимое количество активных + пассивных сетей RLAN/км <sup>2</sup> (дБ)	27,3	44,3	35,1

## 5.2 Помехи сетям RLAN от рефлектометров

В данном случае мы рассматриваем помехи от рефлектометра 1 сети HIPERLAN типа 2. Поскольку в таких сетях RLAN применяется динамический выбор частоты, а ширина полосы рефлектометра относительно невелика, в рассматриваемом здесь сценарии учитывается только излучение по одному из боковых лепестков рефлектометра для одной сети HIPERLAN. Пиковая мощность такой системы рефлектометра равна 4,8 кВт. В данном анализе взята величина бокового лепестка, равная 26 дБи.

Мощность сигнала, поступившего в сеть HIPERLAN от рефлектометра 1, равна примерно  $-106,5$  дБ, что выше порога помех сети HIPERLAN или так называемой минимальной полезной чувствительности приемника, равной  $-115$  дБ. Дополнительные входные потери или потери на поляризацию в данном анализе не учитывались, однако такие потери не приведут к резкому изменению результатов (порядка нескольких дБ). При пролете рефлектометра время видимости сети RLAN с одного из боковых лепестков антенны рефлектометра обычно составляет несколько секунд. Поскольку на рефлектометрах рассматриваемого типа установлено несколько антенн с веерным лучом, то полное время действия помех при пролете спутника может быть даже около 20 с. Как было указано выше, в системах HIPERLAN типа 2 используется динамический выбор частот, позволяющий переключать их на другой канал до начала фактической передачи данных. Поэтому данный способ считается удобным средством борьбы с помехами.

Более точным способом определения максимального допустимого уровня помех считается учет отношения  $C/I$ , которое должно превышать 15 дБ. Когда расстояние между передатчиками составляет 50 м (сценарий наихудшего случая), можно поднять уровень допустимых помех на 10 дБ, ( $-105$  дБВт вместо  $-115$  дБВт). Для рефлектометра 1 данные расчеты дают положительный запас в 1,5 дБ для терминалов, устанавливаемых вне помещений. При использовании в данном анализе сетей RLAN с установкой терминалов внутри помещений получается положительный запас (18,5 дБ).

ТАБЛИЦА 13

**Помехи от рефлектометра 1 высокоскоростным сетям WLAN**

Параметр	Значение	дБ
Мощность передачи (Вт)	4800,00	36,81
Потери на трассе передачи (дБ)	0,00	0,00
Усиление передающей антенны (дБ)	26,00	26,00
Усиление приемной антенны (дБ)	0,00	0,00
Длина волны (м)	$5,65 \times 10^{-2}$	$-24,96$
$(4\pi)^{-2}$	$6,33 \times 10^{-3}$	$-21,98$
Расстояние (км)	1314,03	$-122,37$
Сужение полосы частот (дБ)	0,00	0,00
Принимаемая мощность (дБВт)		$-106,50$
Пороговый уровень помех сетей HIPERLAN		$-115,00$
Запас (дБ) (вне помещений)		$-8,50$
Ослабление в здании (дБ)		17
Запас (дБ) (внутри помещений)		8,50

**5.3 Заключение**

Сделан вывод, что работа рефлектометра на частотах около 5,3 ГГц совместима с сетями RLAN в той же полосе частот. Ожидается, что при своей работе рефлектометры не будут испытывать значительных помех от сетей RLAN. Исследования помех, причиняемых рефлектометрами сетям RLAN, показали, что совместимость возможна при развертывании таких сетей внутри помещений. Отмечается, что некоторые сети RLAN с характеристиками стандартной сети HIPERLAN типа 2 планируется оснастить средствами динамического выбора частоты (DFS). Для таких систем при работе вне помещений вероятность воздействия помех от систем рефлектометров будет еще ниже.

## 6 Общее заключение о совместимости

По результатам анализа совместимости, приведенного в данной Рекомендации, относительно типичных космических активных датчиков, работающих в полосе 5250–5350 МГц, и высокоскоростных сетей WLAN, которые предлагается развертывать в той же полосе, можно сделать общий вывод о том, что эти две службы совместимы при следующих определенных характеристиках сетей RLAN:

- Развертывание внутри помещений (дающее затухание 17 дБ относительно систем вне зданий).
- Ограничение средней э.и.и.м.<sup>2</sup> значением 200 мВт (или 100 мВт, если не используется TPC), а также средней плотности э.и.и.м. значением 10 мВт в любой полосе шириной 1 МГц.
- Использование функции TPC для обеспечения коэффициента ослабления помех не менее 3 дБ.
- Использование функции произвольного выбора канала, например, функции DFS, связанной с механизмом выбора каналов, требуемой для равномерного распределения нагрузки каналов сети WLAN по всей ширине полосы, имеющейся в диапазоне 5 ГГц (принятое в данном исследовании предположение о доступности полосы шириной в 330 МГц дает плотность размещения, соответствующую 440 передатчикам в канале шириной 20 МГц в зоне обслуживания SAR).

---

---

<sup>2</sup> Средняя э.и.и.м. означает э.и.и.м., усредненную по пакету передачи при максимальной установке регулирования мощности.