Особенности планирования систем спутниковой связи в диапазонах частот выше 44 ГГц

Гриценко Андрей Аркадьевич

Генеральный директор, кандидат технических наук

Международный военно-технический форум «АРМИЯ-2015»

Круглый стол «Системы спутниковой связи. Актуальные вопросы международно-правовой защиты сетей спутниковой связи»

18 июня 2015 г

г. Кубинка Московской обл.

Диапазоны и полосы частот выделенные отдельным спутниковым службам

Обозначения диапазонов частот

30 ГГц – 300 ГГц – EHF (Extremely high frequency)

40 ГГц – 75 ГГц – V-band

75 ГГц – 110 ГГц – W-band

20 ТГц – 375 ТГц – оптический диапазон частот

200, 283, 311, 353 ТГц – лазерные линии 3-К-3

РВСС (радиовещательная спутниковая служба): 74-76 ГГц

ФСС (фиксированная спутниковая служба)

Полоса частот, ГГц	Ширина полосы, ГГц	Направ- ление	Прим.				
49.44-50.2	0.76	3-к,					
		K-3*					
50.4-51.4	1	3-K					
71.0-76.0	5	K-3	псс к-з				
81.0-84.0	3	3-K	псс з-к				
84.0-86.0	2	3-K					
123-130	7	K-3	псс к-з				
158.5-164	5.5	K-3	псс к-з				
167-174.5	7.5	K-3					
209-226	17	3-K					
232-240	8	K-3					
265-275	10	3-K					
* - только для ГСО							

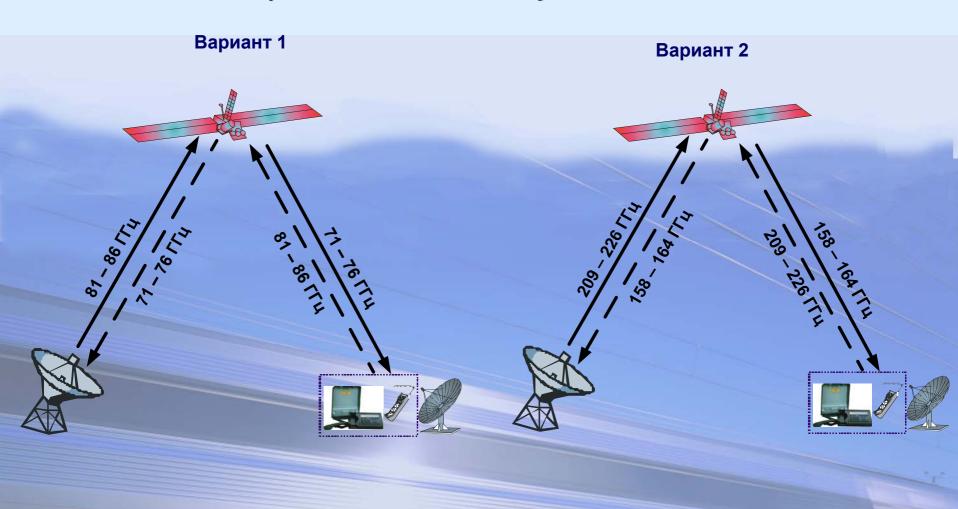
МСС (межспутниковая служба)

•	_			
Полоса частот, ГГц	Ширина полосы, ГГц			
54.25-56.9 *	2.65			
56.9-57.0	0.1			
57.0-58.2 *	1.2			
59.0-71.0	12			
116-123	7			
130-134	4			
167-182	15			
185-190	5			
191.8-200	8.2			
*-только КА на ГСО				

ПСС (подвижная спутниковая служба)

псс (подвижная спутниковая служоа)								
	Полоса частот, ГГц	Ширина полосы, ГГц	Направ- ление	Прим.				
	43.5-47	3.5						
	50.4-51.4	1	3-K*	ФСС З-К				
	66-71	5		1				
	71-74	3	K-3	ФСС К-З				
	81-84	3	3-K	ФСС З-К				
	123-130	7	K-3	ФCC K-3				
	158.5-164	5.5	K-3	ФCC K-3				
	191.8-200	8.2						
	252-265	13	3-K					
	* - на вторичной основе							

Варианты частотной конфигурации перспективных систем спутниковой связи



81...86 ГГц – линия «вверх»

71...76 ГГц – линия «вниз»

209...226 ГГц – линия «вверх»

158...164 ГГц – линия «вниз»

Потери на трассе Земля - Космос

Суммарные потери (Рек. Р.618-11):

$$A_T(p) = A_G(p) + \sqrt{(A_R(p) + A_C(p))^2 + A_S^2(p)}$$

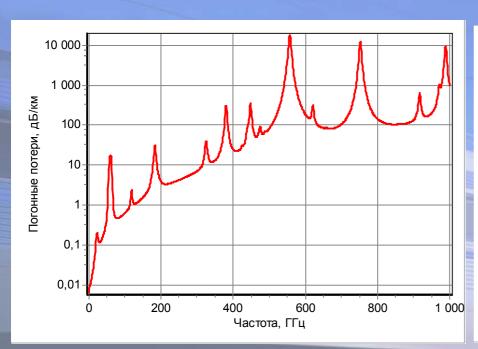
AG(p) – в атмосферных газах;

AR(p) — в дожде;

АС(р) – в облаках;

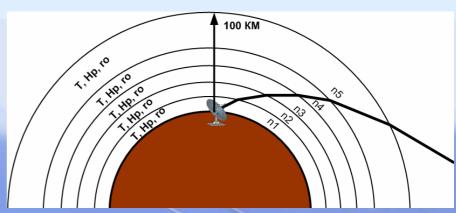
AS(p) – от тропосферных сцинциляций.

Прим: при p<1.0% - AC(1.0%) и AG(1.0%)

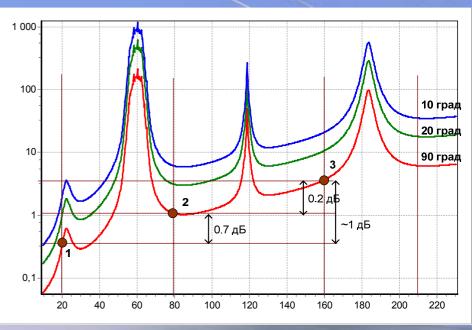


Погонные потери в атмосфере в полосе 1 ГГц – 1000 ГГц (270 К, 1013 гПа, 7.5 г/м3)

Потери в атмосферных газах (Рек. Р.676-10)

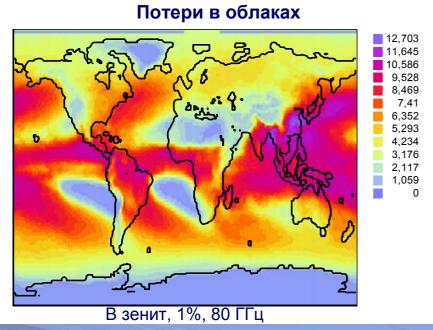


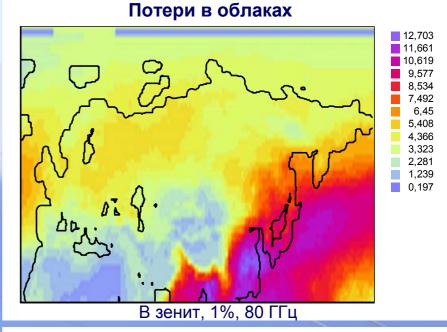
Учет рефрактивности атмосферы

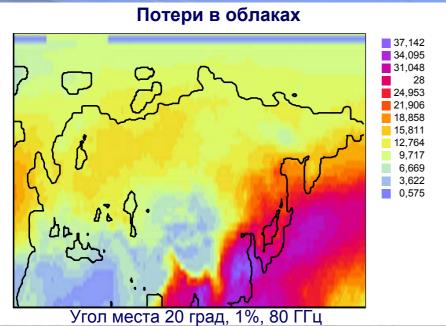


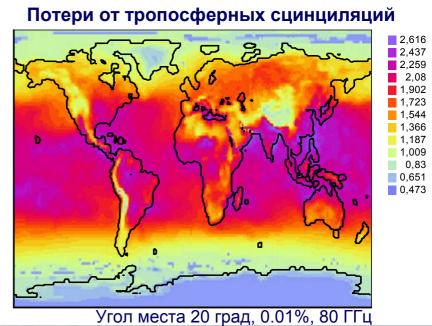
Потери в атмосфере в полосе 10...230 ГГц при углах места 90, 20 и 10 град

Потери в облаках (Рек. Р.840-6) и от тропосферных сцинциляций (Рек. Р.618-11)

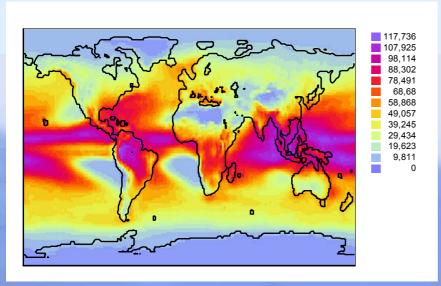




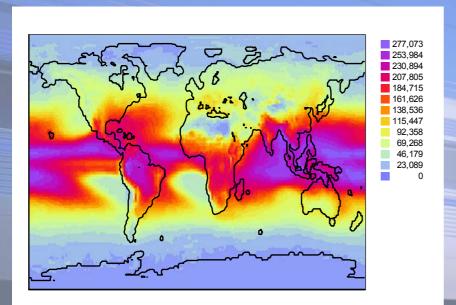




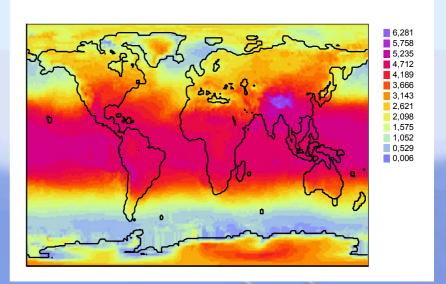
Потери в дожде (Рек. Р.618-11)



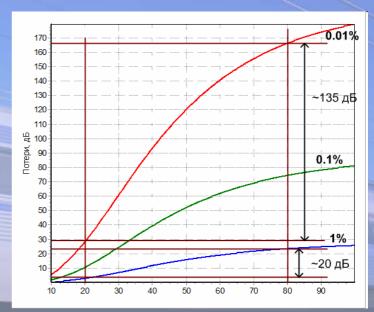
Интенсивность дождя для 0.01%, мм/ч



Потери в дожде в зенит (0.01%, 80 ГГц), дБ

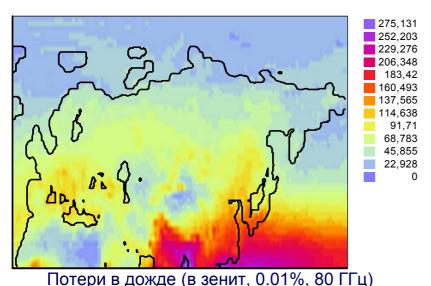


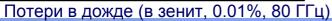
Высота нулевой изотермы, км

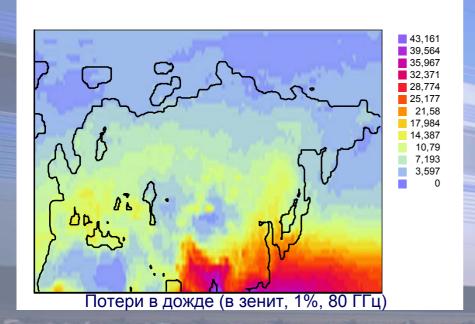


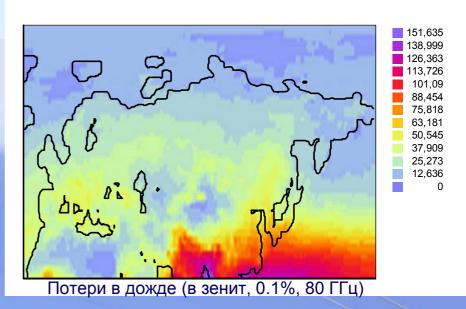
Дополнительные потери диапазона 80 ГГц (для вероятностей 0.01%, 0.1% и 1%)

Потери в дожде (Рек. Р.618-11)



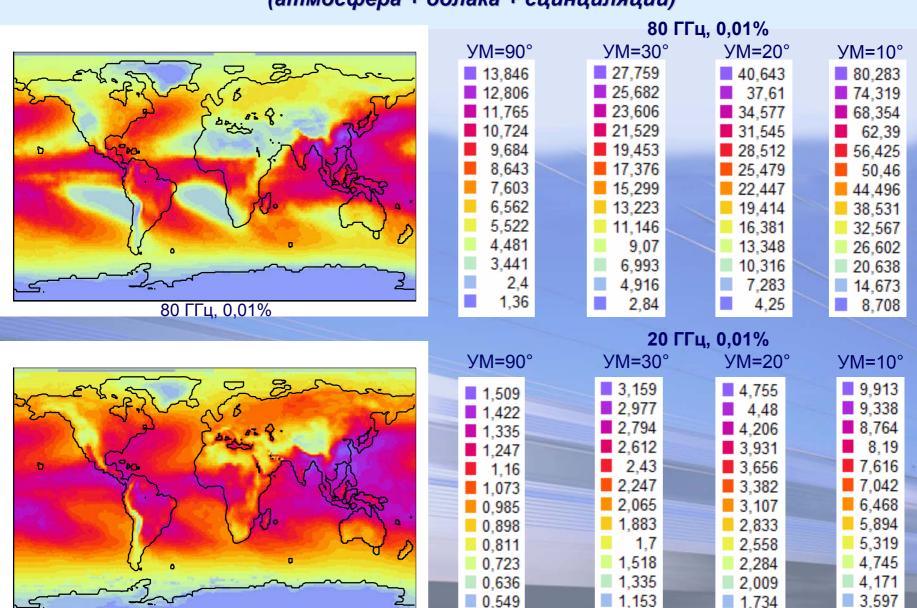








Суммарные потери в условиях «нет дождя» (атмосфера + облака + сцинциляции)



0.461

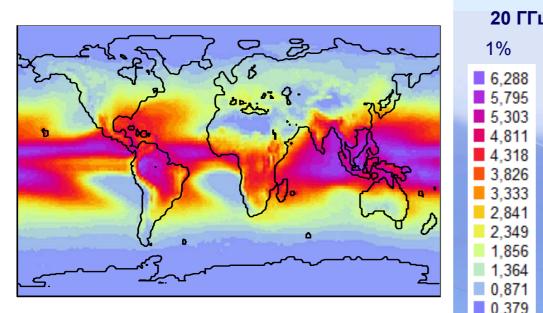
20 ГГц, 0,01%

0,971

3,023

1,46

Суммарные потери на трассе Земля – Космос (атмосфера, дождь, облака, сцинциляции)



1% 0.01% 1% 0.01% 6,288 53,712 44,601 278,145 5,795 49,274 40,984 255,079 5,303 44,837 37,366 232,014 4,811 40,399 33,749 208,949 4,318 35,962 30,131 185,883 3,826 31,524 26,513 162,818 3,333 27,087 22,896 139,752 2,841 22,649 19,278 116,687 2,349 18,211 15,66 93,621 1,856 13,774 12,043 70,556 1,364 9,336 8,425 47,49 0,871 4,899 4,808 24,425 0,379 0,461 1,19 1,36	20 ГГц, в зенит				80 ГГц	, в зенит
5,795 49,274 40,984 255,079 5,303 44,837 37,366 232,014 4,811 40,399 33,749 208,949 4,318 35,962 30,131 185,883 3,826 31,524 26,513 162,818 3,333 27,087 22,896 139,752 2,841 22,649 19,278 116,687 2,349 18,211 15,66 93,621 1,856 13,774 12,043 70,556 1,364 9,336 8,425 47,49 0,871 4,899 4,808 24,425		1%		0.01%	1%	0.01%
		5,795 5,303 4,811 4,318 3,826 3,333 2,841 2,349 1,856 1,364		49,274 44,837 40,399 35,962 31,524 27,087 22,649 18,211 13,774 9,336	40,984 37,366 33,749 30,131 26,513 22,896 19,278 15,66 12,043 8,425	255,079 232,014 208,949 185,883 162,818 139,752 116,687 93,621 70,556 47,49
			4			



Суммарные потери на трассе Земля – Космос (атмосфера, дождь, облака, сцинциляции)



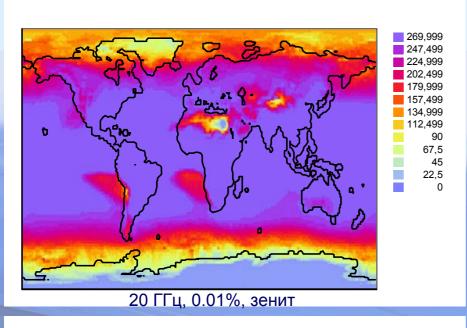
	20 ΓΓ⊔	ц, в зенит	80 ГГ	Ц, в	зенит
	1%	0.01%	1%	0	.01%
	3,578	32,585	27,691		185,431
	3,315	29,945	25,505		170,424
	3,052	27,305	23,319		155,418
	2,789	24,665	21,132		140,411
	2,527	22,026	18,946		125,405
i,	2,264	19,386	16,76		110,399
ı	2,001	16,746	1 4,574		95,392
ı	1,738	14,106	12,388		80,386
ı	1,475	11,466	10,201		65,38
ı	1,212	8,826	8,015		50,373
ı	0,949	6,186	5,829		35,367
1	0,686	3,546	3,643		20,36
	0,423	0,906	1,456		5,354
	0,686	3,546	3,643		20,36

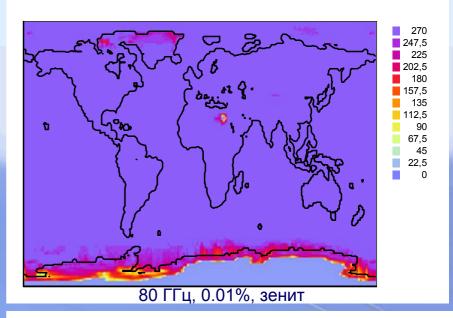
	20 ГГц, Ум=15 град					80 ГГц, Ум=15 град			
	1%		0.01%			1%		0.01%	
	6,298		46,258			37,23		224,606	
	5,911	_	42,69			34,61		207,241	
	5,524		39,122			31,989		189,876	
	5 ,136		35,554			29,368		172,511	
	4,749		31,986			26,748		155,146	
ł	4.361		28,418			24,127		137,781	
	3,974		24,85			21,507		120,416	
	3,586		21,282			18,886		103,052	
	3,199		17,714			16,265		85,687	
	2,812		14,146			13,645		68,322	L
	2,424		10,577		Į.	11,024		50,957	
	2,037	215	7,009	-		8,404	25	33,592	
	1,649		3,441	1000	3	5,783		16,227	6

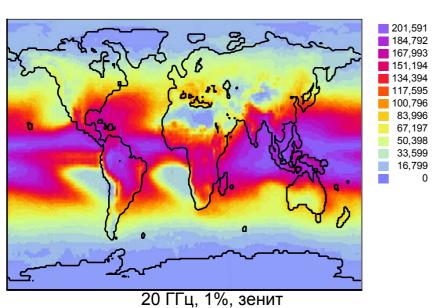
Выводы:

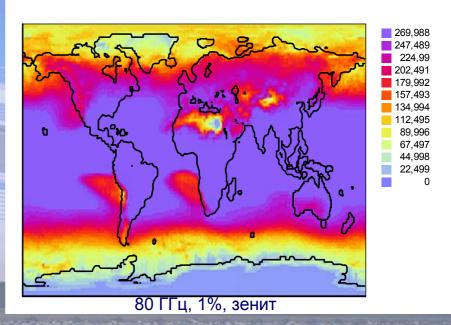
- переход в диапазон 80 ГГц связан с ростом потерь на трассе;
- реализация систем с высоким Кг (99.99%) потребует компенсации доп. потерь от 80 дБ (зенит) до 100 дБ (УМ=15 град) и более;
- реализация систем с малым Кг (99%) потребует компенсации доп. потерь от 12 дБ (зенит) до 20 дБ (УМ=15 град);

Шумовая температура атмосферы (Рек. Р.618-11)







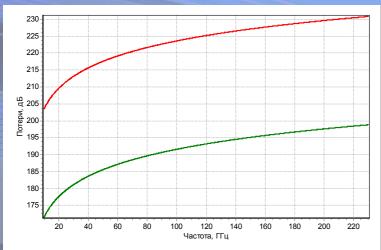


Другие особенности планирования



Пример покрытия лучами 0.2*0.2 град с КА на ГСО

Потери в свободном пространстве



Потери в свободном пространстве (900 и 36000 км), приращение потерь: 12 дБ (относительно 20 ГГц)

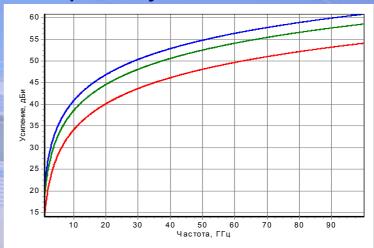
Узкие лучи

Для покрытия территории России необходимо сформировать сотни лучей, что технически труднореализуемо

Для снижения числа лучей целесообразно использовать сканирующие или «прыгающие» лучи, формирующие динамическую зону обслуживания

На абонентских станциях необходимо использование систем наведения и сопровождения КА, необходимо учитывать потери наведения

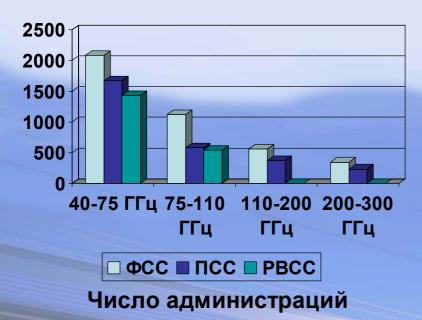
Выигрыш от усиления антенн

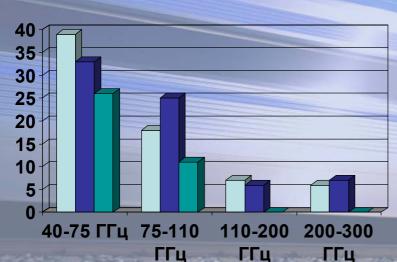


Усиление антенны (0.6, 1.0 и 1.3 м), дБи приращение усиления: 12 дБ (относительно 20 ГГц)

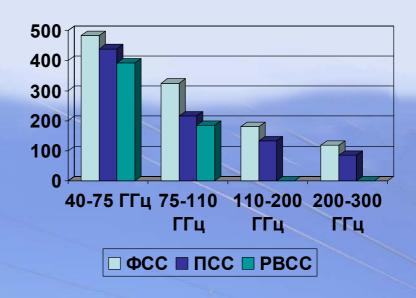
Анализ заявленных космических сетей в диапазоне выше 40 ГГц Системы на геостационарной орбите (ГСО)

Число сетей

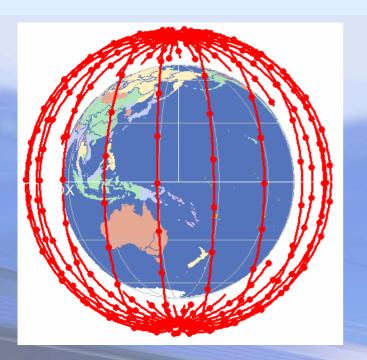


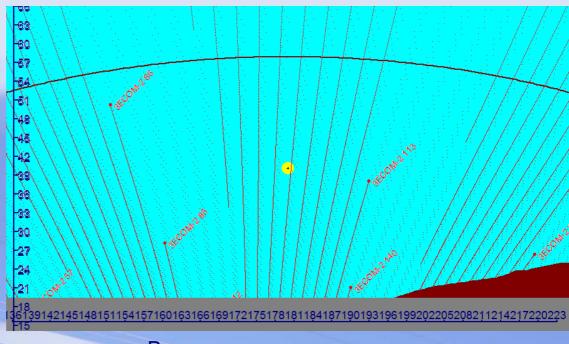


Число позиций на ГСО



3ЕСОМ-2 – система подвижной радиосвязи и передачи данных





Орбитальная группировка

Структура орбитальной группировки:

- Число плоскостей: 12

- Число КА в каждой плоскости: 28

- Мощность ОГ: 336 КА

Параметры базовой орбиты:

- Тип орбиты: низкая, круговая, приполярная

- Высота: 1425 км;

- Наклонение: 89 град

Вид со стороны пользователя

Принадлежность: Лихтенштейн

Полосы частот:

ПСС: 66-71-74 ГГц (К-3)

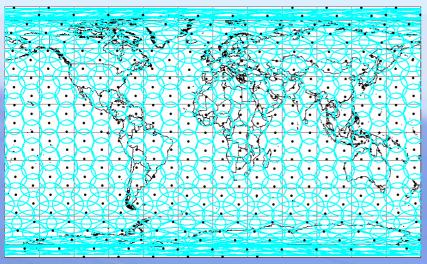
66-71, 81-84 ГГц (3-К)

ФСС: 66-71-74 ГГц (К-3)

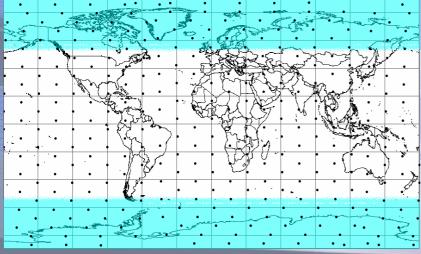
49.44-50.2, 50.4-51.4, 81-86 ГГц (3-К)

РВСС: 74-76 ГГц

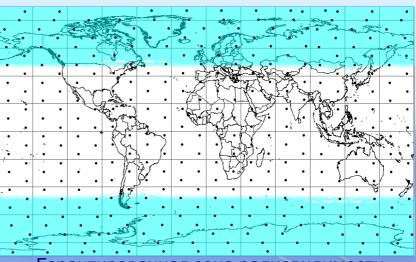
Система 3ECOM-2 Мгновенные и гарантированные зоны радиовидимости



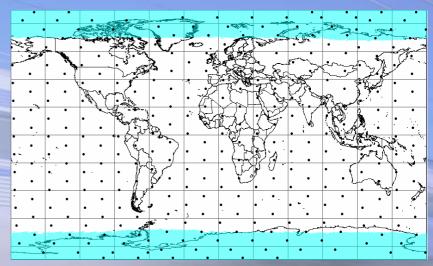
Мгновенная зона радиовидимости (угол места >50 град)



Гарантированная зона радиовидимости (доступность 5-и и более КА на углах > 30 град)



Гарантированная зона радиовидимости (доступность 2-х и более КА на углах > 40 град)



Гарантированная зона радиовидимости (доступность 10-и и более КА на углах > 30 град)

Основные выводы и рекомендации

- 1. Переход в W-диапазон частот связан с ростом потерь в среде распространения. Для снижения их влияния на облик системы, на этапах ее проработки целесообразно обосновывать требуемый коэффициент готовности
- 2. Повышение коэффициента готовности целесообразно обеспечивать использованием разнесенного приема (работа с несколькими КА)
- 3. Работа спутниковых систем в W-диапазоне целесообразна при достаточно больших (примерно > 30 град) углах места
- 4. Системы W-диапазона характеризуются использованием узких лучей. Стандартное сотовое покрытие с ГСО труднореализуемо по требуемым массово-габаритным и энергетическим показателям. Целесообразно прорабатывать сканирующие или «прыгающие» лучи для динамического формирования зоны обслуживания
- 5. Переход с К- в W-диапазон обеспечивает выигрыш в усилении антенны в 12 дБи и проигрыш в потерях в свободном пространстве 12 дБ
- 6. На абонентских станциях потребуется использование систем наведения и сопровождения КА. Необходимо учитывать значительный доплеровский сдвиг частоты
- 7. В W-диапазоне обеспечивается доступность и высокая эффективность использования РЧ-спектра, высокие скрытность и помехозащищенность
- 8. В настоящее время ведутся работы по созданию систем W-диапазона на ГСО и низких (LEO) орбитах
- 9. Требование высоких углов места и разнесенного приема предопределяет значительное число КА в орбитальной группировке (ОГ) на LEO орбитах
- 10. Значительное число КА в составе ОГ на LEO определяет целесообразность использования малых, в том числе нано-спутников

Информационный Космический Центр «Северная Корона»

Спасибо за внимание!



199034, Россия, Санкт-Петербург,

17-я линия В.О., д.4-6

+7 (812) 320-65-04

тел/факс +7 (812) 922-36-21

e-mail:

org@spacecenter.ru

сайт:

тел

www.spacecenter.ru