

РЕКОМЕНДАЦИЯ МСЭ-R S.1716*

Эксплуатационные характеристики и показатели готовности систем телеметрии, слежения и телеуправления в ФСС

(Вопрос МСЭ-R 262/4)

(2005)

Сфера применения

Эта Рекомендация является итогом многолетних исследований в Рабочей группе по радиосвязи 4В и предоставляет разработчикам систем фиксированной спутниковой службы указания по техническим и эксплуатационным аспектам систем телеметрии, слежения и управления.

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

учитывая,

- a) что для всех спутников ФСС существуют требования к телеметрии, слежению и телеуправлению (ТТ&С);
- b) что операции ТТ&С осуществляются на спутниках ФСС при их нахождении на переходной орбите и при работе на станции на геостационарной орбите (ГСО);
- c) что передача информации с помощью сигнала ТТ&С начинается и заканчивается под управлением оператора спутника;
- d) что для несущих ТТ&С требуются более высокие показатели эксплуатационной надежности, чем для несущих обычного трафика;
- e) что потеря несущих телеуправления на линии вверх в направлении на спутник, а также несущих телеметрии и измерения дальности на линии вниз при орбитальных маневрах или в периоды солнечных затмений может привести к потере спутника;
- f) что некоторые спутники со служебными линиями связи в полосах частот выше 17 ГГц могут также работать со служебными линиями в полосах ниже 17 ГГц;
- g) что некоторые операторы ФСС ГСО могут располагать свои спутники, работающие на частотах выше 17 ГГц, вместе со спутниками, работающими на частотах ниже 17 ГГц;
- h) что операторам ФСС ГСО следует предоставить определенную гибкость в отношении работы ТТ&С в наиболее подходящей полосе;
- j) что требования к спектру для эксплуатации систем ТТ&С спутников, работающих на частотах выше 17 ГГц, могут оказать влияние на спутниковые системы, работающие на частотах ниже 17 ГГц,

рекомендует,

1 чтобы операторы спутников ФСС разрабатывали свои системы ТТ&С на основании технических и эксплуатационных соображений, приведенных в Приложении 1.

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Операторам спутников рекомендуется предоставлять дополнительную информацию о работе их систем ТТ&С.

* Настоящая Рекомендация должна быть доведена до сведения 6-й Исследовательской комиссии по радиосвязи.

Приложение 1

Технические и эксплуатационные характеристики систем ТТ&С в ФСС

1 Описание работы систем ТТ&С

В настоящей Рекомендации приведены технические и эксплуатационные характеристики систем ТТ&С в ФСС, включая рабочие параметры их линий и показатели готовности, которые должен учитывать оператор спутника. Настоящая Рекомендация дает руководящие указания операторам ФСС по проектированию и выбору частоты для таких систем ТТ&С на основе конкретных требований.

Следует отметить, что в области коммерческого использования спутников акроним ТТ&С заменили термином ТС&R, который обозначает телеметрию, телеуправление и определение расстояния. Поскольку космическая телеметрия, космическое слежение и космическое телеуправление определены в Статье 1 Регламента радиосвязи, в настоящей Рекомендации используется акроним ТТ&С даже при указании на функции типа телеметрии, телеуправления и определения расстояния (ТС&R).

Подсистема ТТ&С космического аппарата предназначена для обеспечения трех основных функций:

- Телеуправления, позволяющего диспетчерам с Земли управлять различными электронными блоками на борту космического аппарата.
- Телеметрии, позволяющей диспетчерам с Земли следить за исправной работой различных электронных блоков на борту космического аппарата.
- Слежения/определения расстояния, позволяющего диспетчерам с Земли определять положение и ориентацию космического аппарата.

Типовая подсистема ТТ&С показана на рисунке 1.

РИСУНОК 1
Типовая линия ТТ&С



1716-01

Что касается телеуправления, сигнал телеуправления передается с земной станции на линии вверх. Этот сигнал, в свою очередь, принимается и обрабатывается приемником команд (телеуправления) на борту космического аппарата и направляется на соответствующие электронные блоки.

Что касается телеметрии, заданные блоки на космическом аппарате подают индикации состояния на телеметрический передатчик. Передатчик, в свою очередь, модулирует и усиливает эти сигналы на основной несущей телеметрии. От передатчика модулированный сигнал несущей направляется на телеметрическую антенну, с которой он передается на Землю для приема земной станцией.

Что касается определения расстояния, сигнал телеуправления передается по линии вверх на приемник команд космического аппарата. Затем сигнал направляется на телеметрический передатчик для его передачи обратно на Землю. Расстояние от земной станции до космического аппарата определяется просто с помощью измерения изменения фазы между переданным и принятым сигналами.

1.1 Операции на переходной орбите и на орбите

Подсистема ТТ&С большинства используемых в настоящее время спутников работает в двух режимах: режим станции и режим переходной орбиты/аварийный режим (далее именуется аварийным режимом). Переходная орбита спутника ФСС ГСО является критической стадией для срока службы коммерческого спутника. При переходе спутника с низкой околоземной орбиты на ГСО необходимо, чтобы непрерывно были доступны каналы телеуправления и телеметрии, и многие операторы разработали сети с высокой надежностью для наземных земных станций, которые могут отслеживать спутник при запуске и на стадии начальной орбиты (LEOP) при наличии постоянно, по крайней мере, двух земных станций.

Вообще говоря, после того как спутник выйдет на требуемую позицию на ГСО, приемник ТТ&С переключается с всенаправленной антенны на рупорную антенну с большой шириной луча. Поэтому требования к линии для работы в режиме станции и в аварийном режиме обычно различаются.

Для определения готовности линии ТТ&С требуются рабочие параметры наземной земной станции, а также космической станции. Со стороны телеуправления для определения фактического энергетического запаса линии требуются данные о местоположении земной станции линии вверх и уровне ее э.и.и.м., а также о пороге телеуправления спутника. В зависимости от характеристик дождевых осадков в районе, в котором расположена земная станция линии вверх, можно затем рассчитать готовность линии телеуправления, выраженную в процентах.

Что касается телеметрии, для определения фактического энергетического запаса этой линии требуются данные о местоположении приемной земной станции и связанном с ним пороговом уровне приемника, а также об уровне э.и.и.м. для телеметрии космического аппарата. И в этом случае, в зависимости от характеристик дождевых осадков в районе, в котором расположена приемная земная станция, можно определить готовность телеметрической линии.

2 Системы ТТ&С в диапазоне 6/4 ГГц

Несущие ТТ&С спутника для одного оператора спутника ФСС расположены в диапазоне 18 ГГц в полосах 6166–6184 МГц и 3941–3959 МГц. В зависимости от конкретной совокупности спутников в этом диапазоне может быть пять несущих ТТ&С, причем четыре из них используются для телеуправления и телеметрии, а одна в качестве радиомаяка линии вниз. В таблицах 1 и 2 приведены дополнительные технические данные по энергетическим потенциалам линий и характеристикам систем ТТ&С в диапазоне 6/4 ГГц, которые используются на типовых спутниках. Поскольку операторы спутников часто переводят свои спутники в новые орбитальные позиции в зависимости от трафика и исправности спутников, эксплуатационная гибкость в вопросе поддержания общего набора основных параметров ТТ&С делает сеть более эффективной и экономичной.

Каждая из земных станций ТТ&С обычно подключается через специальные наземные и спутниковые устройства к центру управления спутниками (SCC). Доступность и качество сигналов ТТ&С совершенно необходимы для сохранения позиции спутника и его исправности (мощность, стабильность, температура и т. д.), и данные, передаваемые на спутник и с него, должны иметь максимальную доступность и качество, особенно для телеуправления.

ТАБЛИЦА 1

**Энергетические потенциалы линий для типичных несущих телеметрии
в диапазоне 6/4 ГГц**

Типовая телеметрия и определение расстояния на переходной орбите в диапазоне С	
<i>Параметр</i>	
Частота несущей на линии вниз	3950 МГц
Мощность передачи	13 дБВт
Потери при передаче	-9,5 дБ
Усиление антенны	1,9 дБи
Э.и.и.м. (типовая)	1,6 дБВт
Потери на трассе (40 671 км) для угла места 10°	-196,6 дБ
<i>G / T</i> приемника	35 дБ/К
<i>C/N₀</i>	68,2 дБ-Гц
<i>Поднесущая в нормальном режиме и в режиме удержания (dwell) (S/C)</i>	
Имеющееся отношение <i>S/N₀</i> S/C на линии вниз	58,6 дБ-Гц
Требуемое <i>S/N₀</i>	50,2
Запас на поднесущей	8,4 дБ
<i>S/C для определения расстояния</i>	
Имеющееся отношение <i>S/N₀</i> на линии вниз	58,6 дБ-Гц
<i>S/N₀</i> на линии вверх	60
Общее <i>S/N₀</i>	56,2
Требуемое <i>S/N₀</i>	41 дБ-Гц
Запас при определении расстояния	15,2 дБ

ТАБЛИЦА 2

**Энергетические потенциалы линий для типичных несущих телеуправления
и определения расстояния**

Параметр	Переходная орбита	ГСО	Единицы
Частота несущей	6175	6175	(МГц)
Э.и.и.м.	90	73,2	(дБВт)
Фактор расширения луча на ГСО	-163,2	-163,2	(дБ/м ²)
П.п.м. на спутнике	-73,2	-90	(дБ(Вт/м ²))
Разные потери	-0,5	-0,4	(дБ)
Усиление на 1 м ²	-37,3	-37,3	(дБи)
Изотропная мощность падающего луча	-111	-127,7	(дБВт)
Усиление антенны спутника	-5,1	7,3	(дБи)
Потери в системе облучения и на расщепление луча	-6,5	-6,6	(дБ)
Входная мощность приемника	-122,6	-127	(дБВт)
Пороговая мощность приемника	-142	-142	(дБВт)
Энергетический запас	19,4	15	(дБ)

2.1 Готовность системы ТТ&С

Операторы ФСС в диапазоне 6/4 ГГц могут поддерживать энергетические запасы на их линиях ТТ&С для обеспечения готовности линии в 99,99–99,999% времени. Такие значения готовности сравнимы с готовностью космического сегмента спутниковой сети. При этом для одного оператора спутников средняя готовность ретрансляторов для их спутников составляла 99,9996% в 2000 году. Для их земных станций ТТ&С удалось добиться показателей готовности лучше чем 99,95%, и в связи с охватом за счет большой ширины луча спутниковой антенны каждый спутник обычно видит две земные станции ТТ&С. Инфраструктура наземной/спутниковой сети для трассы с избыточным резервом соединяет центр SCC с земной станцией ТТ&С. Показатель готовности сети для этой наземной/спутниковой трассы составляет 99,99%. Поэтому приемлемым показателем готовности линии ТТ&С может быть значение 99,99–99,999%.

Типичные показатели энергетического потенциала линии ТТ&С в диапазоне 6/4 ГГц приведены в таблицах 1 и 2. Аналогичные эксплуатационные характеристики для линии ТТ&С в диапазоне 6/4 ГГц заданы для большинства спутниковых систем ТТ&С. Следует также отметить, что значения э.и.и.м. на линии вверх и линии вниз имеют типовые значения и могут меняться в зависимости от земных станций ТТ&С, работающих с этим спутником. Эти данные не учитывают старение спутниковых приемников и усилителей мощности, а также характеристики земной станции ТТ&С на линии вверх. Готовность линии связи ТТ&С можно рассчитать в соответствии с имеющимся энергетическим запасом, рабочим углом места и климатическими условиями по уровню дождевых осадков для каждой земной станции ТТ&С. Примеры уровней готовности, которые могут быть достигнуты с этими типовыми энергетическими потенциалами линии, в предположении вероятностей ослабления при распространении для трех пунктов ТТ&С, приведены в таблицах 3–5. Из указанных выше данных по ослаблению при распространении можно видеть, что для достижения эксплуатационной готовности лучше чем 99,999% в диапазоне 6/4 ГГц требуются минимальный энергетический запас 6,5 дБ на линии вверх и минимальный энергетический запас 1,9 дБ на линии вниз.

Энергетические запасы линии связи на распространение в этих пунктах для эксплуатационных характеристик ТТ&С с теми же процентами времени были рассчитаны для диапазонов 14/11–12 ГГц, 30/20 ГГц и 50/40 ГГц. Если для спутниковых сетей, работающих на частотах выше 17 ГГц, надо добиться таких же показателей, то необходимо располагать их земные станции ТТ&С в сухих районах и с большими углами места.

ТАБЛИЦА 3

Пункт ТТ&С в Кларксбурге (угол места 23,2°)

<i>Кларксбург</i>					
Частота линии вверх	Ослабление (дБ)				
	6,17 ГГц	14,50 ГГц	30,00 ГГц	50,00 ГГц	
Процент времени					
1	0,32	1,64	7,14	17,93	
0,1	0,68	5,49	22,92	47,84	
0,01	1,77	14,98	55,97	105,61	
0,001	4,17	29,9	98,05	171,73	
Частота линии вниз					
	3,95 ГГц	11,70 ГГц	20,20 ГГц	40,00 ГГц	
Процент времени					
1	0,22	1,08	4,03	11,19	
0,1	0,35	3,61	12,01	34,7	
0,01	0,59	10,18	30,18	81,51	
0,001	1,17	21,12	55,88	137,36	

ТАБЛИЦА 4
Пункт ТТ&С в Райстинге (угол места 15,8°)

<i>Райстинг</i>					
Частота линии вверх	Ослабление (дБ)				
	6,17 ГГц	14,50 ГГц	30,00 ГГц	50,00 ГГц	
Процент времени					
1	0,38	1,35	5,32	16,07	
0,1	0,69	4,32	16,73	38,37	
0,01	1,56	11,94	41,59	83,06	
0,001	3,52	24,37	74,92	136,85	
Частота линии вниз					
	3,95 ГГц	11,70 ГГц	20,20 ГГц	40,00 ГГц	
Процент времени					
1	0,28	0,92	3,22	8,77	
0,1	0,43	2,81	9,19	26,49	
0,01	0,67	7,95	23,27	63,05	
0,001	1,17	16,86	44,05	108,76	

ТАБЛИЦА 5
Пункт ТТ&С в Пекине (угол места 13,5°)

<i>Пекин</i>					
Частота линии вверх	Ослабление (дБ)				
	6,17 ГГц	14,50 ГГц	30,00 ГГц	50,00 ГГц	
Процент времени					
1	0,53	2,59	10,47	26,53	
0,1	1,13	8,5	32,04	66,45	
0,01	2,9	22,46	75,49	140,73	
0,001	6,5	43,11	128,06	221,49	
Частота линии вниз					
	3,95 ГГц	11,70 ГГц	20,20 ГГц	40,00 ГГц	
Процент времени					
1	0,36	1,65	6,19	16,1	
0,1	0,58	5,39	17,35	47,61	
0,01	0,99	14,74	41,72	108,07	
0,001	1,9	29,5	74,5	176,64	

2.2 Резюме

Приведенные выше технические сведения по характеристикам ТТ&С в диапазоне 6/4 ГГц для одного оператора ФСС устанавливают показатели эксплуатационных характеристик и готовности, которые должны учитываться операторами при проектировании своих линий ТТ&С.

3 Системы ТТ&С в диапазоне 14/10–11 ГГц

3.1 Описание системы

Для этого исследования рассчитывается готовность линий телеметрии и телеуправления для космического аппарата одного из операторов спутников, работающего в диапазоне 14/12–11 ГГц. В таблицах 6 и 7 приведены данные по линиям телеуправления и их энергетическому потенциалу для этих космических аппаратов в режиме станции и в аварийном режиме, соответственно. В таблицах 8 и 9 приведены данные по линиям телеметрии и их энергетическому потенциалу для этих космических аппаратов в режиме станции и в аварийном режиме, соответственно.

Приведенные в этих документах данные разделены на четыре группы:

- общие характеристики сигналов;
- рабочие параметры космического аппарата;
- рабочие параметры земной станции для линии вверх/линии вниз;
- энергетический потенциал линии телеуправления/телеметрии.

Для линии телеуправления представлены две цифры процента готовности. Первая цифра готовности основана на текущей рабочей э.и.и.м. земной станции и может рассматриваться как "рабочая готовность" линии. Вторая цифра готовности основана на максимальной э.и.и.м., которую можно получить от земной станции, и ее можно рассматривать как "максимальную готовность" линии. При работе в аварийном режиме, когда пространственное положение/ориентация космического аппарата могут быть неизвестны, предполагается, что земная станция телеуправления работает с максимально доступной э.и.и.м., чтобы обеспечить установление и поддержку стабильной линии с космическим аппаратом.

Для уровней энергетического потенциала линии, приведенных в таблицах 6–9, были сделаны предположения в отношении общих дополнительных потерь в системе в 1 дБ, чтобы учесть различные небольшие потери типа нарушения наведения антенны, потери на трассе за счет поглощения в атмосфере и т. д. Были сделаны допущения о том, что основные потери на трассе связаны с потерями за счет расхождения луча сигнала, ослабления под действием дождевых осадков и повышения шумовой температуры приемной земной станции вследствие дождей. Готовность линии определялась при использовании карт интенсивности осадков (и их вероятности), содержащихся в Рекомендации МСЭ-R P.618, и расчетных уровней энергетического запаса линии в условиях ясного неба.

ТАБЛИЦА 6

Готовность телеуправления для нормального режима (режима станции)

Название космического аппарата Положение космического аппарата на орбите (° угол места)	USASAT-24K -91,00	USASAT-23F -94,95	USASAT-25K -45,00	USASAT-141-2 68,50	USASAT-14H 166,00
<i>Данные о сигнале телеуправления</i>					
Частота сигнала телеуправления космического аппарата (ГГц) Поляризация сигнала телеуправления космического аппарата (левосторонняя вертикальная, левосторонняя горизонтальная, правосторонняя круговая, левосторонняя круговая) Режим работы космического аппарата (режим станции, аварийный режим или оба режима)	14,0–14,5 ЛЕВОСТ. ВЕРТИКАЛЬНАЯ РЕЖИМ СТАНЦИИ	13,5–14,0 ЛЕВОСТ. ВЕРТИКАЛЬНАЯ РЕЖИМ СТАНЦИИ	13,5–14,0 ЛЕВОСТ. ГОРИЗОНТАЛЬНАЯ РЕЖИМ СТАНЦИИ	13,5–14,0 ПРАВОСТ. КРУГОВАЯ РЕЖИМ СТАНЦИИ	13,5–14,0 ПРАВОСТ. КРУГОВАЯ РЕЖИМ СТАНЦИИ
<i>Данные о телеуправлении космического аппарата</i>					
Описание диаграммы направленности приемной антенны для телеуправления космического аппарата (глобальная или неглобальная) П.п.м. приема на пороговом уровне телеуправления космического аппарата в направлении от местоположения земной станции телеуправления (дБ(Вт/м ²))	ГЛОБАЛЬНАЯ -105,00	ГЛОБАЛЬНАЯ -97,00	ГЛОБАЛЬНАЯ -108,00	ГЛОБАЛЬНАЯ -87,00	ГЛОБАЛЬНАЯ -87,00
<i>Данные о земной станции телеуправления</i>					
Идентификатор местоположения земной станции телеуправления Высота местоположения земной станции телеуправления (в метрах над средним уровнем моря) Размер передающей антенны земной станции телеуправления (м) Пиковое усиление передающей антенны земной станции телеуправления (дБи) Максимальная допустимая э.и.и.м. земной станции телеуправления (дБВт) Э.и.и.м. земной станции телеуправления (дБВт) Интенсивность дождевых осадков в месте расположения земной станции телеуправления для 0,01% среднего года (мм/час)	АТЛАНТА, ШТАТ ДЖОРДЖИЯ 236,22 9,30 61,26 86,00 68,00 80,00	ФИЛМОР, ШТАТ КАЛИФОРНИЯ 306,00 6,10 56,80 85,00 77,57 25,00	АТЛАНТА, ШТАТ ДЖОРДЖИЯ 236,22 13,00 63,80 89,50 78,00 80,00	ПЕРТ, АВСТРАЛИЯ 15,00 11,00 62,00 ? 85,90 25,00	ПЕРТ, АВСТРАЛИЯ 15,00 11,00 62,00 ? 84,70 25,00
<i>Энергетический потенциал линии</i>					
Э.и.и.м. на линии вверх от земной станции телеуправления (дБВт) Угол места земной станции (в градусах над горизонтом) Расстояние между земной станцией телеуправления и спутником (м) Потери на расхождение луча (дБ) Потери, обусловленные атмосферными явлениями (дБ) Дополнительные потери в системе (дБ) П.п.м. в канале телеуправления линии вверх (дБ(Вт/м ²)) П.п.м. на пороговом уровне телеуправления космического аппарата (дБ(Вт/м ²)) Энергетический запас телеуправления (дБ) Готовность канала телеуправления (%)	68,00 50,19 37 066 125,27 162,37 0,00 1,00 -94,37 -105,00 10,63 99,97650	77,57 42,54 37 588 473,28 162,49 0,00 1,00 -84,92 -97,00 12,08 99,99856	78,00 32,81 38 365 626,21 162,67 0,00 1,00 -84,67 -108,00 23,33 99,99597	85,90 27,33 38 853 188,51 162,78 0,00 1,00 -76,88 -87,00 10,12 99,99432	84,70 25,13 39 057 710,39 162,83 0,00 1,00 -78,13 -87,00 8,87 99,99090

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Все пороговые значения телеуправления космического аппарата взяты из технических требований.

ТАБЛИЦА 7

Готовность телеуправления для аварийного режима

Название космического аппарата Положение космического аппарата на орбите (° угол места)	USASAT-24K -91,00	USASAT-24F -94,95	USASAT-25K -45,00	USASAT-14I-2 68,50	USASAT-14H 166,00
<i>Данные о сигнале телеуправления</i>					
Полоса частот сигнала телеуправления космического аппарата (ГГц) Поляризация сигнала телеуправления космического аппарата (левосторонняя вертикальная, левосторонняя горизонтальная, правосторонняя круговая, левосторонняя круговая) Режим работы космического аппарата (режим станции, аварийный режим или оба режима)	14,0–14,5 ЛЕВОСТ. ВЕРТИКАЛЬНАЯ АВАРИЙНЫЙ	13,5–14,0 ЛЕВОСТ. ВЕРТИКАЛЬНАЯ АВАРИЙНЫЙ	13,5–14,0 ЛЕВОСТ. ГОРИЗОНТАЛЬНАЯ АВАРИЙНЫЙ	13,5–14,0 ПРАВОСТ. КРУГОВАЯ РЕЖИМ СТАНЦИИ	13,5–14,0 ПРАВОСТ. КРУГОВАЯ АВАРИЙНЫЙ
<i>Данные о телеуправлении космического аппарата</i>					
Описание диаграммы направленности приемной антенны для телеуправления космического аппарата (глобальная или неглобальная) П.п.м. приема на пороговом уровне телеуправления космического аппарата в направлении от местоположения земной станции телеуправления (дБ(Вт/м ²))	ГЛОБАЛЬНАЯ -105,00	ГЛОБАЛЬНАЯ -78,00	ГЛОБАЛЬНАЯ -108,00	ГЛОБАЛЬНАЯ -82,00	ГЛОБАЛЬНАЯ -82,00
<i>Данные о земной станции телеуправления</i>					
Идентификатор местоположения земной станции телеуправления Высота местоположения земной станции телеуправления (в метрах над средним уровнем моря) Размер передающей антенны земной станции телеуправления (м) Пиковое усиление передающей антенны земной станции телеуправления (дБи) Максимальная допустимая э.и.м. земной станции телеуправления (дБВт) Э.и.м. земной станции телеуправления (дБВт) Интенсивность дождевых осадков в месте расположения земной станции телеуправления для 0,01% среднего года (мм/час)	АТЛАНТА, ШТАТ ДЖОРДЖИЯ 236,22 9,30 61,26 86,00 68,00 80,00	ФИЛМОР, ШТАТ КАЛИФОРНИЯ 306,00 6,10 56,80 85,00 77,57 25,00	АТЛАНТА, ШТАТ ДЖОРДЖИЯ 236,22 13,00 63,80 89,50 78,00 80,00	ПЕРТ, АВСТРАЛИЯ 15,00 11,00 62,00 ? 85,90 25,00	ПЕРТ, АВСТРАЛИЯ 15,00 11,00 62,00 ? 84,70 25,00
<i>Энергетический потенциал линии</i>					
Э.и.м. на линии вверх от земной станции телеуправления (дБВт) Угол места земной станции (в градусах над горизонтом) Расстояние между земной станцией телеуправления и спутником (м) Потери на расхождение луча (дБ) Потери, обусловленные атмосферными явлениями (дБ) Дополнительные потери в системе (дБ) П.п.м. в канале телеуправления линии вверх (дБ(Вт/м ²)) П.п.м. на пороговом уровне телеуправления космического аппарата (дБ(Вт/м ²)) Энергетический запас телеуправления (дБ) Готовность канала телеуправления (%)	86,00 50,19 37 066 125,27 162,37 0,00 1,00 -76,37 -105,00 28,63 99,99884	85,00 42,54 37 588 473,28 162,49 0,00 1,00 -77,49 -78,00 0,51 99,19300	89,50 32,81 38 365 626,21 162,67 0,00 1,00 -73,17 -108,00 34,83 99,99915	85,90 27,33 38 853 188,51 162,78 0,00 1,00 -76,88 -82,00 5,12 99,97633	84,70 25,13 39 057 710,39 162,83 0,00 1,00 -78,13 -82,00 3,87 99,95327

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Все пороговые значения телеуправления космического аппарата взяты из технических требований.

ТАБЛИЦА 8
Готовность телеметрии для нормального режима (режима станции)

Название космического аппарата Положение космического аппарата на орбите (° угол места)	USASAT-24K -91,00	USASAT-23F -94,95	USASAT-25K -45,00	USASAT-14I-2 68,50	USASAT-14H 166,00
<i>Данные о сигнале телеметрии</i>					
Частота сигнала телеметрии космического аппарата (ГГц) Поляризация сигнала телеметрии космического аппарата (левая вертикальная, левая горизонтальная, правая круговая, левая круговая)	11,7–12,2 ЛЕВОСТ. ВЕРТИ- КАЛЬНАЯ	11,45–11,7 ПРАВООСТ. КРУГОВАЯ	11,45–11,7 ЛЕВОСТ. ВЕРТИ- КАЛЬНАЯ	11,45–11,7 ЛЕВОСТ. ГОРИЗОН- ТАЛЬНАЯ	12,5–12,75 ЛЕВОСТ. ГОРИЗОН- ТАЛЬНАЯ
Режим работы космического аппарата (режим станции, аварийный режим или оба режима)	НОРМАЛЬНЫЙ	НОРМАЛЬНЫЙ	НОРМАЛЬНЫЙ	НОРМАЛЬНЫЙ	НОРМАЛЬНЫЙ
Режим телеметрии космического аппарата (нормальный режим, режим удержания или оба режима)	ОБА	ОБА	ОБА	ОБА	ОБА
<i>Данные о телеметрии космического аппарата</i>					
Описание диаграммы направленности телеметрической антенны космического аппарата (глобальная или неглобальная)	ГЛОБАЛЬНАЯ	ГЛОБАЛЬНАЯ	ГЛОБАЛЬНАЯ	ГЛОБАЛЬНАЯ	ГЛОБАЛЬНАЯ
Э.и.и.м. канала телеметрии на линии вниз космического аппарата в направлении приемной земной станции (дБВт)	5,00	10,00	11,26	12,50	12,50
<i>Данные о земной станции телеметрии</i>					
Идентификатор местоположения земной станции телеметрии	АТЛАНТА, ШТАТ ДЖОРДЖИЯ	ФИЛМОР, ШТАТ КАЛИФОРНИЯ	АТЛАНТА, ШТАТ ДЖОРДЖИЯ	ПЕРТ, АВСТРАЛИЯ	ПЕРТ, АВСТРАЛИЯ
Высота местоположения земной станции телеметрии (м)	236,22	306,00	236,22	15,00	15,00
Размер приемной антенны земной станции телеметрии (м)	9,30	6,10	13,00	11,00	11,00
Пиковое усиление приемной антенны земной станции телеметрии (дБи)	60,01	55,30	62,20	60,00	60,00
G/T (дБ/К) земной станции телеметрии	37,50	34,00	40,40	38,50	38,50
Минимально требуемое C/N_0 для приема телеметрии космического аппарата на земной станции телеметрии (дБ)	48,50	48,50	48,50	48,50	48,50
Интенсивность дождевых осадков в месте расположения земной станции телеметрии для 0,01% среднего года (мм/час)	80,00	25,00	80,00	25,00	25,00
Название космического аппарата	USASAT-24K	USASAT-23F	USASAT-25K	USASAT-14I-2	USASAT-14H
Положение космического аппарата на орбите (° угол места)	-91,00	-94,95	-45,00	68,50	166,00
<i>Энергетический потенциал линии</i>					
Э.и.и.м. на линии вниз в направлении земной станции (дБВт)	5,00	10,00	11,26	12,50	12,50
Угол места земной станции (в градусах над горизонтом)	50,19	42,54	32,81	27,33	25,13
Расстояние между приемной земной станцией и спутником (м)	37 066 125,27	37 588 473,28	38 365 626,21	38 853 188,51	39 057 710,39
Потери на трассе (дБ)	205,19	205,13	205,49	205,41	206,39
Потери, обусловленные атмосферными явлениями (дБ)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Дополнительные потери в системе (дБ)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
G/T (дБ/К) земной станции в условиях ясного неба	37,50	34,00	40,40	38,50	38,50
Снижение G/T земной станции вследствие влияния дождя (дБ)	-3,48	-4,30	-4,31	-4,49	-4,47
G/T земной станции в дожде (дБ/К)	34,02	29,71	36,09	34,01	34,04
Постоянная Больцмана	-228,60	-228,60	-228,60	-228,60	-228,60
C/N_0 (дБ)	62,43	63,18	70,46	69,70	68,75
Требуемое C/N_0 (дБ) -- @ 4000 бит/с	54,50	54,50	54,50	54,50	54,50
Энергетический запас	7,93	8,68	15,96	15,20	14,25
Готовность (%)	99,9846	99,9986	99,9962	99,9997	99,9990

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Все значения э.и.и.м. для телеметрии космического аппарата являются прогнозируемыми.

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – C/N_0 земной станции соответствует битовой скорости демодуляции 4000 бит/с и коэффициенту ошибок по битам 10^{-6} .

ТАБЛИЦА 9

Готовность телеметрии для аварийного режима

Название космического аппарата	USASAT-24K	USASAT-23F	USASAT-25K	USASAT-14I-2	USASAT-14H
Положение космического аппарата на орбите (° угол места)	-91,00	-94,95	-45,00	68,50	166,00
<i>Данные о сигнале телеметрии</i>					
Частота сигнала телеметрии космического аппарата (Гц)	11,7–12,2	11,45–11,7	11,45–11,7	11,45–11,7	12,5–12,75
Поляризация сигнала телеметрии космического аппарата (левосторонняя вертикальная, левосторонняя горизонтальная, правосторонняя круговая, левосторонняя круговая)	ЛЕВОСТ. ВЕРТИКАЛЬНАЯ	ПРАВОСТ. КРУГОВАЯ	ЛЕВОСТ. ВЕРТИКАЛЬНАЯ	ЛЕВОСТ. ГОРИЗОНТАЛЬНАЯ	ЛЕВОСТ. ГОРИЗОНТАЛЬНАЯ
Режим работы космического аппарата (режим станции, аварийный режим или оба режима)	АВАРИЙНЫЙ	АВАРИЙНЫЙ	АВАРИЙНЫЙ	АВАРИЙНЫЙ	АВАРИЙНЫЙ
Режим телеметрии космического аппарата (нормальный режим, режим удержания или оба режима)	ОБА	ОБА	ОБА	ОБА	ОБА
<i>Данные о телеметрии космического аппарата</i>					
Описание диаграммы направленности телеметрической антенны космического аппарата (глобальная или неглобальная)	ГЛОБАЛЬНАЯ	ГЛОБАЛЬНАЯ	ГЛОБАЛЬНАЯ	ГЛОБАЛЬНАЯ	ГЛОБАЛЬНАЯ
Э.и.м. канала телеметрии на линии вниз космического аппарата в направлении на приемную земную станцию (дБВт)	5,00	5,00	6,73	0,00	0,00
<i>Данные о земной станции телеметрии</i>					
Идентификатор местоположения земной станции телеметрии	АТЛАНТА, ШТАТ ДЖОРДЖИЯ	ФИЛМОР, ШТАТ КАЛИФОРНИЯ	АТЛАНТА, ШТАТ ДЖОРДЖИЯ	ПЕРТ, АВСТРАЛИЯ	ПЕРТ, АВСТРАЛИЯ
Высота местоположения земной станции телеметрии (м)	236,22	306,00	236,22	15,00	15,00
Размер приемной антенны земной станции телеметрии (м)	9,30	6,10	13,00	11,00	11,00
Пиковое усиление приемной антенны земной станции телеметрии (дБи)	60,01	55,30	62,20	60,00	60,00
G/T (дБ/К) земной станции телеметрии	37,50	34,00	40,40	38,50	38,50
Минимально требуемое C/N ₀ для приема телеметрии космического аппарата на земной станции телеметрии (дБ)	48,50	48,50	48,50	48,50	48,50
Интенсивность дождевых осадков в месте расположения земной станции телеметрии для 0,01% среднего года (мм/час)	80,00	25,00	80,00	25,00	25,00
Название космического аппарата	USASAT-24K	USASAT-23F	USASAT-25K	USASAT-14I-2	USASAT-14H
Положение космического аппарата на орбите (° угол места)	-91,00	-94,95	-45,00	68,50	166,00
<i>Энергетический потенциал линии</i>					
Э.и.м. на линии вниз в направлении земной станции (дБВт)	5,00	5,00	6,73	0,00	0,00
Угол места земной станции (в градусах над горизонтом)	50,19	42,54	32,81	27,33	25,13
Расстояние между приемной земной станцией и спутником (м)	37 066 125,27	37 588 473,28	38 365 626,21	38 853 188,51	39 057 710,39
Потери на трассе (дБ)	205,19	205,13	205,49	205,41	206,39
Потери, обусловленные атмосферными явлениями (дБ)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Дополнительные потери в системе (дБ)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
G/T (дБ/К) земной станции в условиях ясного неба	37,50	34,00	40,40	38,50	38,50
Снижение G/T земной станции вследствие влияния дождя (дБ)	-3,48	-3,53	-4,18	-3,25	-2,97
G/T земной станции в дожде (дБ/К)	34,02	30,47	36,22	35,25	35,53
Постоянная Больцмана	-228,60	-228,60	-228,60	-228,60	-228,60
C/N ₀ (дБ)	62,43	58,95	66,06	58,44	57,74
Требуемое C/N ₀ (дБ) – @ 4000 бит/с	54,50	54,50	54,50	54,50	54,50
Энергетический запас	7,93	4,45	11,56	3,94	3,24
Готовность (%)	99,9846	99,9913	99,9905	99,9823	99,9526

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Все значения э.и.м. для телеметрии космического аппарата являются прогнозируемыми.

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – C/N₀ земной станции соответствует битовой скорости демодуляции 4000 бит/с и коэффициенту ошибок по битам 10⁻⁶.

ТАБЛИЦА 10

Готовность линии для определения расстояния

Название космического аппарата Положение космического аппарата на орбите (° угол места)	USASAT-24K -91,00	USASAT-23F -94,95	USASAT-25K -45,00	USASAT-14I-2 68,50	USASAT-14H 166,00
Режим работы космического аппарата (нормальный режим станции, аварийный режим или оба режима)	РЕЖИМ СТАНЦИИ	РЕЖИМ СТАНЦИИ	РЕЖИМ СТАНЦИИ	РЕЖИМ СТАНЦИИ	РЕЖИМ СТАНЦИИ
Готовность канала телеуправления (%)	99,97650	99,99856	99,99597	99,99432	99,99090
Готовность канала телеметрии (%)	99,9846	99,9986	99,9962	99,9997	99,9990
Готовность канала измерения расстояния (%)	99,96110	99,99716	99,99217	99,99402	99,98990
Название космического аппарата Положение космического аппарата на орбите (° угол места)	USASAT-24K -91,00	USASAT-23F -94,95	USASAT-25K -45,00	USASAT-14I-2 68,50	USASAT-14H 166,00
Режим работы космического аппарата (нормальный режим станции, аварийный режим или оба режима)	АВАРИЙНЫЙ	АВАРИЙНЫЙ	АВАРИЙНЫЙ	АВАРИЙНЫЙ	АВАРИЙНЫЙ
Готовность канала телеуправления (%)	99,99884	99,19300	99,99915	99,97633	99,95327
Готовность канала телеметрии (%)	99,9846	99,9913	99,9905	99,9823	99,9526
Готовность канала измерения расстояния (%)	99,98344	99,18437	99,98965	99,95863	99,90589

3.2 Показатели готовности систем ТТ&С

Как видно из таблицы 6, при обычной работе в режиме станции "рабочая готовность" линии телеуправления меняется в пределах от 99,97650 до 99,99856% со средним значением 99,99125%. Аналогично для телеметрии в режиме станции готовность линии меняется в пределах от 99,9846 до 99,9997% со средним значением 99,99562% (см. таблицу 8).

В условиях работы в аварийном режиме, когда ориентация космического аппарата может быть неизвестна, разумно предположить, что сигнал телеуправления будет передаваться с максимально доступной э.и.и.м. земной станции, чтобы обеспечить надежную линию связи с космическим аппаратом. Соответственно, в этом режиме работы подходящим и применяемым параметром является "максимальная готовность" линии. Согласно таблице 7, максимальная готовность линии телеуправления в аварийном режиме работы меняется в пределах от 99,193 до 99,99915% со средним значением 99,82411%. Для телеметрической линии (см. таблицу 9) готовность меняется в пределах от 99,9526 до 99,9913% со средним значением 99,98026%.

Для определения расстояния не было получено никаких данных прямых измерений. Однако можно получить хорошую оценку готовности с помощью перемножения показателей готовности линий телеуправления и телеметрии для каждого приведенного случая. С помощью такой методики готовность этой линии меняется в пределах от 99,9611 до 99,99716% со средним значением 99,98687% (см. таблицу 10), если предполагается, что космический аппарат работает в обычном режиме одновременно по линиям телеуправления и телеметрии. Соответствующие показатели готовности для аварийного режима (одновременно для телеуправления и телеметрии) меняются в пределах от 99,18437 до 99,98965% со средним значением 99,8044%.

3.3 Ограничения на размеры антенны телеуправления

Для обеспечения надежной работы системы ТТ&С в диапазоне 14/11–12 ГГц линия телеуправления вверх к космическому аппарату должна быть очень надежной, а приемник команд (телеуправления) на космическом аппарате должен быть чувствительным и способным работать в широком динамическом диапазоне, чтобы соответствовать большим величинам энергетического запаса на замирания в дожде на линии вверх. Такие чувствительные приемники команд оказываются чувствительными и к помехам от других несущих на той же частоте, что может приводить к ложным командам на приемнике ТТ&С космического аппарата. Для обеспечения того, чтобы помехи на линии вверх и линии вниз от несущих связи и телеуправления соседних спутниковых сетей оказывали пренебрежимо малое воздействие на уменьшение имеющегося энергетического запаса на замирания, обычно для посылки команд на космический аппарат и приема от него телеметрии используют большие, с высокой направленностью передающие антенны земной станции. Наиболее ограничивающим фактором при определении размера диаметра антенны ТТ&С является минимальное расстояние между спутниками, которое требуется для повторного использования той же частоты телеуправления для соседнего космического аппарата.

Для моделирования ситуации с повторным использованием одной и той же частоты для работы линии телеуправления вверх для соседних спутников была рассмотрена суммарная помеха от земных станций линии вверх, ведущих передачу на ближайшие соседние спутниковые сети. Был рассчитан уровень помех и было проведено его сравнение с критериями помех приемника команд. Было сделано предположение, что все спутники равномерно распределены в пространстве с расстоянием между ними, кратным 2° . При таком предположении два самых близких спутника разнесены на φ° , а следующий самый близкий спутник разнесен на $2\varphi^\circ$ от полезной спутниковой сети. Приняв уровень чувствительности к помехам приемника команд на спутнике равным -125 дБ(Вт/м²) плюс дополнительный энергетический запас в 1 дБ для анализируемой системы, размер антенны земной станции телеуправления меняли с шагом около 2 м от минимального значения 9 м до максимального значения 15 м для оценки влияния диаметра антенны на разнесение работающих на одной частоте спутников.

В таблице 11 приведены результирующие значения орбитального разноса в зависимости от диаметра антенны на линии вверх. Как и ожидалось, результаты показывают, что с увеличением диаметра антенны на линии вверх от 9 до 15 м разнесение спутников можно уменьшать от 12° до 8° . Для спутниковой сети с критерием помех, соответствующим очень чувствительному приемнику команд, разнесение спутников определяется защитой приемника команд. При условии что значения C/I на линии вверх и линии вниз для типичных линий телеуправления вверх и линий телеметрии вниз, получающиеся из величины разнесения, составляют более чем 50 дБ, компонента помех от

ближайшего спутника в общем шуме линии телеуправления вверх пренебрежимо мала, и по этой причине помехи от соседнего спутника не учитывались при расчете готовности линии телеуправления вверх или готовности линии телеметрии вниз.

ТАБЛИЦА 11

Пример требуемого орбитального разнеса соседних спутников, повторно использующих одну и ту же частоту телеуправления на линии вверх, в зависимости от диаметра антенны для 14 ГГц

Диаметр антенны телеуправления на линии вверх (м)	9	11,3	13	15
Усиление антенны на линии вверх (дБи)	60,19	62,17	63,38	64,63
Орбитальный разнос X (градусы)	12	10	10	8
Суммарное значение C/I от четырех ближайших спутников (дБ)	52,41	52,39	53,61	52,41
Суммарное значение п.п.м. на полезном спутнике от четырех ближайших мешающих спутников (дБ(Вт/м ²))	-126,1	-126,1	-127,3	-126,1

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Предполагается, что в каждой спутниковой сети используются земные станции с одинаковыми параметрами. Считается также, что каждая земная станция передает по линии телеуправления вверх э.и.и.м. 89 дБВт на одной и той же частоте и что ширина занимаемой полосы каждой несущей телеуправления одинакова.

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Предполагается, что все спутниковые сети имеют одинаковый диаметр антенны на линии вверх. Огибающая диаграммы направленности в интересующих углах для передающей антенны каждой земной станции следующая:

$$29 - 25 \log(\varphi) \quad \text{дБи} \quad \text{для } 2^\circ < \varphi \leq 7^\circ$$

$$7,9 \quad \text{дБи} \quad \text{для } 7^\circ < \varphi \leq 9,2^\circ$$

$$32 - 25 \log(\varphi) \quad \text{дБи} \quad \text{для } 9,2^\circ < \varphi \leq 48^\circ,$$

где φ – топоцентрический угол разнесения от мешающего спутника.

Операторы, применяющие большие антенны, могут уменьшать орбитальный разнос между спутниками, которые могут использовать одну и ту же частоту телеуправления. Кроме того, некоторые приемники телекоманд имеют более мягкие требования к защите и поэтому способны повторно использовать одинаковую частоту при меньшем разнесении спутников.

Несмотря на использование критерия для суммарной помехи в -125 дБ(Вт/м²), такой уровень не препятствует работе на одной частоте цифровых несущих на линии вверх на соседнем спутнике, что может приводить к меньшим требованиям для разнесения спутников, чем в том случае, когда линия телеуправления вверх координируется с одинаковой несущей.

3.4 Сравнение показателей готовности системы ТТ&С для сетей ФСС на частотах выше и ниже 17 ГГц

Анализ чувствительности линий телеуправления вверх системы ТТ&С и линий телеметрии вниз в диапазонах 30/20 и 50/40 ГГц был проведен с использованием проекта линии ТТ&С в диапазоне 14/12 ГГц в качестве базовых показателей эксплуатационных характеристик. Перечень базовых параметров системы для этих трех разных диапазонов частот вместе со связанными с ними линиями телеуправления и телеметрии приведен в таблице 12. Следует отметить, что использование различных допущений для параметров линий в диапазонах 30/20 ГГц и 50/40 ГГц может привести к результатам, отличающимся от данных этого анализа. Уровни передаваемой мощности, усиления антенны земной станции, температуры шума земной станции и космической станции для диапазонов 30/20 ГГц и 50/40 ГГц, а также усиления спутниковой антенны определялись по типовым или репрезентативным значениям из имеющихся данных. Для всех линий земные станции ТТ&С были расположены в пунктах с координатами 44,2° с.ш. и 80,9° з.д.

ТАБЛИЦА 12

Параметры системы спутниковой сети

Частотный диапазон	(ГГц)	50/40	30/20	14/12
Положение космического аппарата на орбите	(градусы в.д.)	-107,3	-107,3	-107,3
Угол места земной станции	(градусы)	32,7	32,7	32,7
Интенсивность дождей, превышаемая в течение 0,01% года для земной станции	(мм/час)	35,7	35,7	35,7
Местоположение земной станции над средним уровнем моря	(км)	0,3	0,3	0,3
<i>Энергетический потенциал линии вверх</i>				
Частота линии вверх	(ГГц)	50,0	30,0	14,0
Поляризация на линии вверх		Круговая	Круговая	Круговая
Диаметр антенны земной станции	(м)	2,4	6,3	9,0
Усиление антенны земной станции	(дБи)	60,1	64,0	60,5
Э.и.и.м. земной станции	(дБВт)	77,0	91,8	89,0
Поглощение в атмосфере	(дБ)	4,4	1,6	0,4
Ошибка наведения земной станции	(дБ)	0,2	0,4	0,1
Ширина полосы линии вверх	(кГц)	1 300,0	1300,0	1 300,0
Тепловое C/N на линии вверх (номинальное ясное небо)	(дБ)	44,2	60,5	55,2
<i>Номинальные рабочие уровни линии вверх</i>				
Мощность приема космического аппарата на линии вверх	(дБВт)	-99,3	-99,3	-99,3
Пороговая п.п.м. космического аппарата на линии вверх	(дБ(Вт/м ²))	-96,2	-94,8	-90,0
П.п.м. на линии вверх (номинальное ясное небо)	(дБ(Вт/м ²))	-90,2	-72,9	-74,2
Запас для линии вверх	(дБ)	6,0	21,9	15,8
Готовность на линии вверх	(%)	98,476	99,965	99,998
<i>Энергетический потенциал на линии вниз</i>				
Частота линии вниз	(ГГц)	40,0	20,2	11,7
Поляризация на линии вниз		Круговая	Круговая	Круговая
Диаметр антенны земной станции	(м)	2,4	6,3	9,0
Усиление антенны земной станции	(дБи)	58,1	60,6	58,9
<i>Номинальные рабочие уровни при ясном небе</i>				
Температура шума малошумящего усилителя земной станции	(К)	300,0	200,0	160,0
Температура шума системы земной станции	(К)	447,7	367,8	242,1
G/T земной станции (ясное небо)	(дБ/К)	31,6	34,9	35,1
Ширина полосы линии вниз	(кГц)	300,0	300,0	300,0
Тепловое C/N линии вниз (номинальное ясное небо)	(дБ)	19,7	22,4	18,0
Пороговое значение C/N	(дБ)	5,0	5,0	3,3
<i>Параметры космического аппарата</i>				
Э.и.и.м. космического аппарата	(дБВт)	32,4	26,5	15,0
Усиление передающей антенны космического аппарата	(дБи)	52,4	46,5	35,3
Мощность передачи космического аппарата	(дБВт)	-20,0	-20,0	-20,3
G/T космического аппарата (ясное небо)	(дБ/К)	22,4	17,0	6,5
<i>Снижение характеристик линии вниз во время дождя</i>				
Поглощение в атмосфере	(дБ)	1,8	2,4	0,2
Потери в фидерной системе	(дБ)	1,0	1,0	1,0
Ошибка наведения земной станции	(дБ)	0,1	0,2	0,1
A1 замираний из-за дождя (p1)	(дБ)	13,7	16,3	12,4
Снижение теплового отношения C/N	(дБ)	1,0	1,0	2,4
Энергетический запас линии вниз	(дБ)	14,7	17,4	14,8
Готовность линии вниз	(%)	99,771	99,987	99,999

Для линии вверх для расчета уровня мощности приема на входе приемника команд космического аппарата использовали "пороговую" п.п.м. для спутниковой сети с опорным диапазоном 14/12 ГГц. Этот уровень мощности приема соответствует минимальному необходимому значению для нормальной работы. "Пороговый" уровень п.п.м. для диапазона 14/12 ГГц составил -90 дБ(Вт/м²).

Для диапазона 14/12 ГГц был проведен анализ чувствительности, чтобы выяснить влияние местоположения земной станции ТТ&С (угол места и интенсивность дождей) на получаемые эксплуатационные характеристики линий телеуправления вверх и линий телеметрии вниз. Основываясь на типичных линиях для диапазона 14/12 ГГц, типовые показатели готовности, достигнутые для линии телеуправления вверх и линий телеметрии вниз, составили величину порядка 99,98%. Такая готовность, получаемая при обычной работе, была использована в качестве установки для определения, какие уровни или эксплуатационные характеристики могут быть достигнуты в других частотных диапазонах, например в диапазонах 30/20 и 50/40 ГГц. Следует отметить, что при проведении анализа чувствительности рассматривали только "нормальный" режим работы.

Для получения надежного метода сравнения данных использовали постоянную широту в 18° с.ш. Эта широта дает широкий разброс уровней интенсивности дождей в минимальном диапазоне долгот между -20° з. д. и -70° з. д. Ее также выбрали потому, что она требует минимальной интерполяции численных коэффициентов, которые нужны для расчета интенсивности дождей, высоты слоя дождя и поглощения в атмосфере, описанных в Рекомендациях МСЭ-R P.837, P.839 и P.676, соответственно.

В общем, когда для заданного угла места увеличивается локальная интенсивность дождей, готовность снижается. Готовность к работе ТТ&С при заданной интенсивности дождей также снижается с уменьшением угла места. В этом примере рассмотрена максимальная интенсивность дождей в 100 мм/час. На рисунке 2 показан минимальный необходимый угол места при меняющихся значениях интенсивности дождей для достижения готовности 99,98%. На рисунке 3 показаны максимальные значения интенсивности дождей, позволяющие для различных требуемых углов места добиться готовности 99,98%. На этих рисунках приведены данные для диапазонов частот 14/12 и 30/20 ГГц. Для диапазона 50/40 ГГц данные не приводятся, поскольку для него готовность 99,98% можно и не получить при любом сочетании интенсивности дождей и углов места.

РИСУНОК 2

Минимальный угол места, который позволяет получить готовность 99,98%, в зависимости от интенсивности дождей

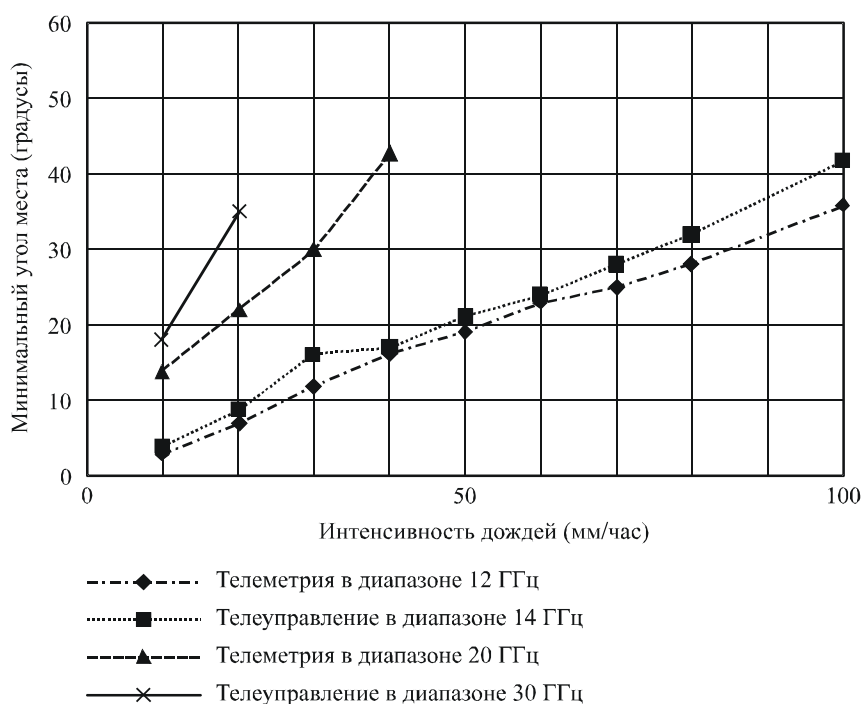
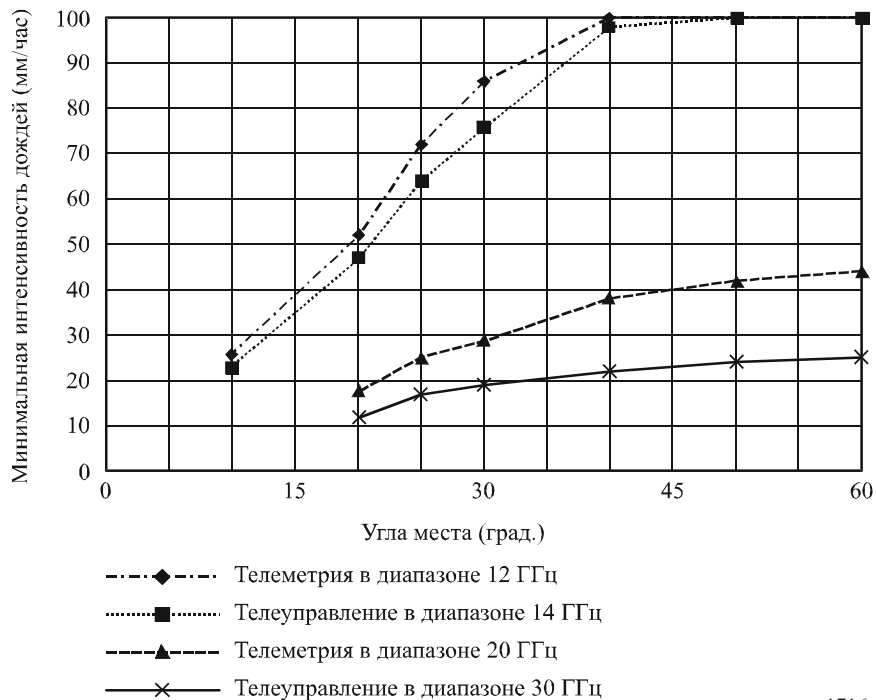


РИСУНОК 3

Минимальная интенсивность дождей, которая позволяет получить готовность 99,98%, в зависимости от угла места



1716-03

4 Показатели готовности системы ТТ&С для сети ФСС в диапазоне 30/20 ГГц

Одна из национальных сетей ФСС в диапазоне 30/20 ГГц использовала несущие телеуправления на линии вверх для своей системы ТТ&С у нижнего края полосы частот 29,5–30 ГГц и спроектировала свои линии так, чтобы получить показатели готовности в интервале от 99,98 до 99,95% для нормального режима или режима станции в зависимости от конфигурации приемной антенны спутника и 99,97% – для работы на переходной орбите.

Несущие телеметрии для линии вниз должны быть аналогичным образом размещены у нижнего края полосы 19,7–20,2 ГГц с показателем готовности 99,95% для нормального режима или режима станции и показателем готовности 99,9% для переходной орбиты. Требуемое значение показателя BER для демодулятора данных на земной приемной станции ТТ&С составляло 1×10^{-6} .

5 Резюме

В приведенных выше разделах представлены данные по типичным эксплуатационным характеристикам систем ТТ&С. При рассмотрении этих данных становится очевидно, что готовность линии меняется в достаточно широком диапазоне, причем готовность линии телеуправления, вообще говоря, меньше, чем для линии телеметрии. Однако следует иметь в виду, что для большинства современных космических аппаратов поток телеметрии обычно по своему характеру непрерывный. По линии телеуправления оператор не подает непрерывного потока команд на космический аппарат, и, соответственно, оператор может регулировать периоды и число сеансов послышки команды. Поэтому можно ожидать, что средняя надежность линий для передачи сигналов телеметрии, телеуправления и измерения расстояния на практике будет намного выше значений готовности, приведенных в таблицах 6 и 7.

Сравнение эксплуатационных характеристик и показателей готовности систем ТТ&С, работающих в диапазонах 30/20 и 50/40 ГГц при использовании тех же проектных параметров линий ТТ&С, что и параметры, применяемые для диапазона 14/11–12 ГГц, показывает, что ряд факторов ограничивает рабочие характеристики линий ТТ&С на частотах выше 17 ГГц.

В дополнение к этому в Циркулярном письме СА/99Бюро радиосвязи (БР) содержится просьба к администрации и Членам Сектора предоставить технические и рабочие характеристики своих систем ТТ&С ФСС. БР создало базу данных на Web-сайте МСЭ по адресу: <http://web.itu.ch/brsg/srg4/info/wp4b/index.html>. В таблице 13 приведен сводный анализ данных, собранных в ответ на Циркулярное письмо СА/99 БР.

ТАБЛИЦА 13

Сводка данных по готовности и энергетическому запасу линий, полученных из Циркулярного письма БР СА/99

Готовность линии (%)	6/4 ГГц			14/11 ГГц			20 ГГц		
	Минимум	Максимум	Средняя	Минимум	Максимум	Средняя	Минимум	Максимум	Средняя
Определение расстояния	99,7	99,998	99,76859	94,9981	99,9923	99,14992	99,42525	99,97716	99,70121
Телеметрия	99,7	99,999	99,80755	99,9	99,999	99,96253	Непри- менимо	Непри- менимо	Непри- менимо
Телеуправление	99,7	99,999	99,83424	99,3403	99,99874	99,89163	99,9	99,99511	99,94756

Энергетический запас линии (дБ)	6/4 ГГц			14/11 ГГц			20 ГГц		
	Минимум	Максимум	Средний	Минимум	Максимум	Средний	Минимум	Максимум	Средний
Определение расстояния	0,7	42,31633	13,07245	0,48482	30,9111	16,26529	1,306482	7,30482	4,305651
Телеметрия	0,5	39,45	24,40857	6	30,8	19,41385	Непри- менимо	Непри- менимо	Непри- менимо
Телеуправление	0,5	24,5	7,307692	2,38	22,2	10,97929	13,7	19,6	16,65