

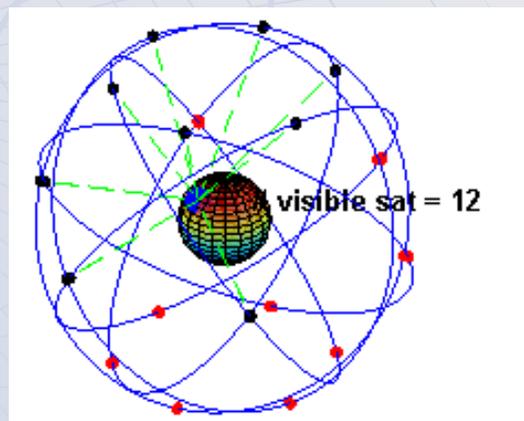
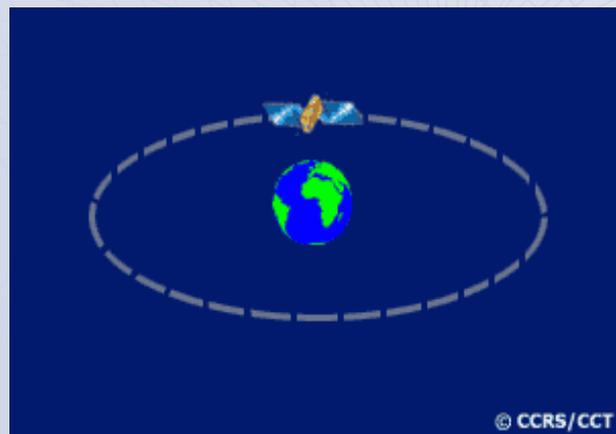


Федеральное государственное унитарное предприятие
Научно-исследовательский институт радио (НИИР)
Российская Федерация



Рекомендации Сектора радиосвязи МСЭ (МСЭ-R), касающиеся создания и использования космических систем радиосвязи

Александр Васильевич Васильев
Эл. почта: alexandre.vassiliev@ties.itu.int





Цели и задачи Сектора радиосвязи МСЭ (МСЭ-R)

- ...
- **Проведение исследований без ограничения диапазона частот и принятие Рекомендаций по вопросам радиосвязи**

(ссылка: Статья 12 Устава МСЭ)

проводятся (в числе других):

- ...
- **Утверждение Рекомендаций МСЭ-R Государствами-Членами МСЭ.**

Соответствующие технические исследования

проводятся **Исследовательскими Комиссиями МСЭ-R**

(при участии Государств-Членов МСЭ, Членов Сектора радиосвязи, ассоциативных членов и академических организаций)



Главные задачи Исследовательских Комиссий МСЭ-R

Разработка технических основ для ВКР (и РКР)



например, процесс ПСК для ВКР

Разработка Рекомендаций (стандартов) МСЭ-R



Международные добровольные *стандарты*:

- по управлению использованием спектра, спутниковых орбит, совместному использованию частот и т.п.
- характеристикам и правилам эксплуатации систем



МСЭ-R – это международный координатор по стандартизации беспроводных систем

Составление Отчетов, Справочников и Руководств



Рекомендации Сектора радиосвязи МСЭ

В Резолюции МСЭ-R 1-6, утверждённой Ассамблеей радиосвязи 2012 года, даётся следующее определение Рекомендации Сектора радиосвязи (см. п. 6.1.2):



Рекомендация:

Ответ на Вопрос, часть(и) Вопроса или темы, упомянутые в п. 3.3, который в рамках существующих знаний, исследований и имеющейся информации обычно содержит рекомендации по техническим характеристикам, требованиям, данным или руководящим принципам для рекомендуемых способов решения поставленной задачи либо предпочтительные процедуры для конкретного применения и который считается достаточным, чтобы служить основой для международного сотрудничества в данном контексте в области радиосвязи.

Сборник Резолюций МСЭ-R доступен (бесплатно) по адресу:

http://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/vadm/R-VADM-RES-2012-PDF-R.pdf



Разработка, утверждение и применение Рекомендаций МСЭ-R

- Разрабатываются экспертами из администраций, частных компаний и операторов связи, являющимися членами Сектора радиосвязи;
- **Утверждаются Государствами – Членами МСЭ;**
- Применение не является обязательным (за исключением включённых в Регламент радиосвязи (РР)), однако практически Рекомендации МСЭ-R реализуются повсеместно;
- **Применение Рекомендаций, включённые в РР, является обязательным при управлении спектром на международном уровне;**
- Используются специалистами по управлению спектром и разработчиками систем радиосвязи.

Радиослужбы космической радиосвязи

В соответствии с РР к службам космической радиосвязи относятся:

- ❖ *фиксированная спутниковая служба (п.1.21 РР);*
- ❖ *межспутниковая служба (п.1.21 РР);*
- ❖ *служба космической эксплуатации (п.1.23 РР);*
- ❖ *подвижная спутниковая служба (п.1.25 РР);*
- ❖ *морская подвижная спутниковая служба (п.1.29 РР);*
- ❖ *воздушная подвижная спутниковая служба (п.1.35 РР);*
- ❖ *радиовещательная спутниковая служба (п.1.39 РР);*
- ❖ *спутниковая служба радиоопределения (п.1.41 РР);*
- ❖ *радионавигационная спутниковая служба(п.1.43 РР);*
- ❖ *воздушная радионавигационная спутниковая служба (п.1.47 РР);*
- ❖ *радиолокационная спутниковая служба (п.1.49 РР);*
- ❖ *спутниковая служба исследования Земли (п.1.51 РР);*
- ❖ *спутниковая служба стандартных частот и сигналов времени (п.1.54 РР)*
- ❖ *служба космических исследований (п.1.55 РР);*
- ❖ *любительская спутниковая служба (п.1.57 РР).*

Ввиду ограничений по времени основное внимание в докладе уделяется радиовещательной и фиксированной спутниковым службам



Разработка Рекомендаций МСЭ-R, касающихся спутниковых систем радиосвязи

ИК4 МСЭ-R (Спутниковые службы) Председатель: К. Хофер (США)



Вице-председатели ИК4:

- О. Байе - (Нигерия)
- К. Бини - (Кот-д'Ивуар);
- Ф. Карильо Вальдеррабано - (Мексика);
- А. Дарвиши - (Иран);
- Ч. Гао - (Китай);
- Н. Каваи - (Япония);
- Э. Нисмит - (Канада);
- М.Симонов - (Россия);
- М. Солиман - (Египет)
- А. Валле – (Франция)

Рабочая группа 4А
Эффективное использование орбиты / спектра для фиксированной и радиовещательной спутниковых служб (ФСС и РСС)
Председатель: Дж. Венгрияк (США)



Рабочая группа 4В
Системы, эфирные интерфейсы, показатели качества и готовности для фиксированной, радиовещательной и подвижной спутниковых служб (ФСС, РСС и ПСС), включая IP приложения и спутниковый сбор новостей
Председатель: Д. Вайнрайх (США)



Рабочая группа 4С
Эффективное использование орбиты / спектра для подвижной спутниковой службы и спутниковой службы радио определения (ПСС и ССРО)
Председатель: А. Валле (Франция)





Серии Рекомендаций МСЭ-R по системам космической радиосвязи (1)

- ◆ **S** – Фиксированная спутниковая служба – более 140 рекомендаций, касающихся компонентов, характеристик систем, требований по защите, обеспечения эффективного использования спектра/орбиты, построения и использования систем ФСС и т.д.;
- ◆ **SNG** – Спутниковый сбор новостей – 9 рекомендаций, касающихся создания и использования «репортажных систем»;
- ◆ **SF** – Совместное использование полос частот и координация систем фиксированной спутниковой и фиксированной служб – 20 рекомендаций, содержащих критерии оценки совместимости, требования по защите, методики расчёта взаимного влияния и определения уровня помех между системами ФСС и ФС и т.п.;



Серии Рекомендаций МСЭ-R по системам космической радиосвязи (2)

- ◆ **ВО** – Спутниковая доставка (*программ звукового и телевизионного радиовещания и данных*) – более 40 рекомендаций, касающихся построения и использования систем спутникового радиовещания и передачи данных, компонентов систем, используемых методов сжатия информации и т.д.;
- ◆ **М** – Подвижная служба, служба радио определения, любительская и соответствующие спутниковые службы – ряд рекомендаций касается систем ПСС, любительской СС и т.д.
- ◆ **Р** – Распространение радиоволн – расчёт потерь распространения радиоволн для различных диапазонов частот с учётом различных факторов: ослабления в газах, осадках, рельефа земной поверхности и т.д.



Базовые определения, касающиеся космической радиосвязи

Приведены в **Рекомендации МСЭ-R S.673-2** (2002): Термины и определения, касающиеся космической радиосвязи (Terms and definitions relating to space radiocommunications).

Рекомендация содержит базовые определения, касающихся космической радиосвязи (типов орбит и спутников, характеристик орбит, различных лучей, зон обслуживания и т.д.).

Опубликована на английском, французском и испанском языках.



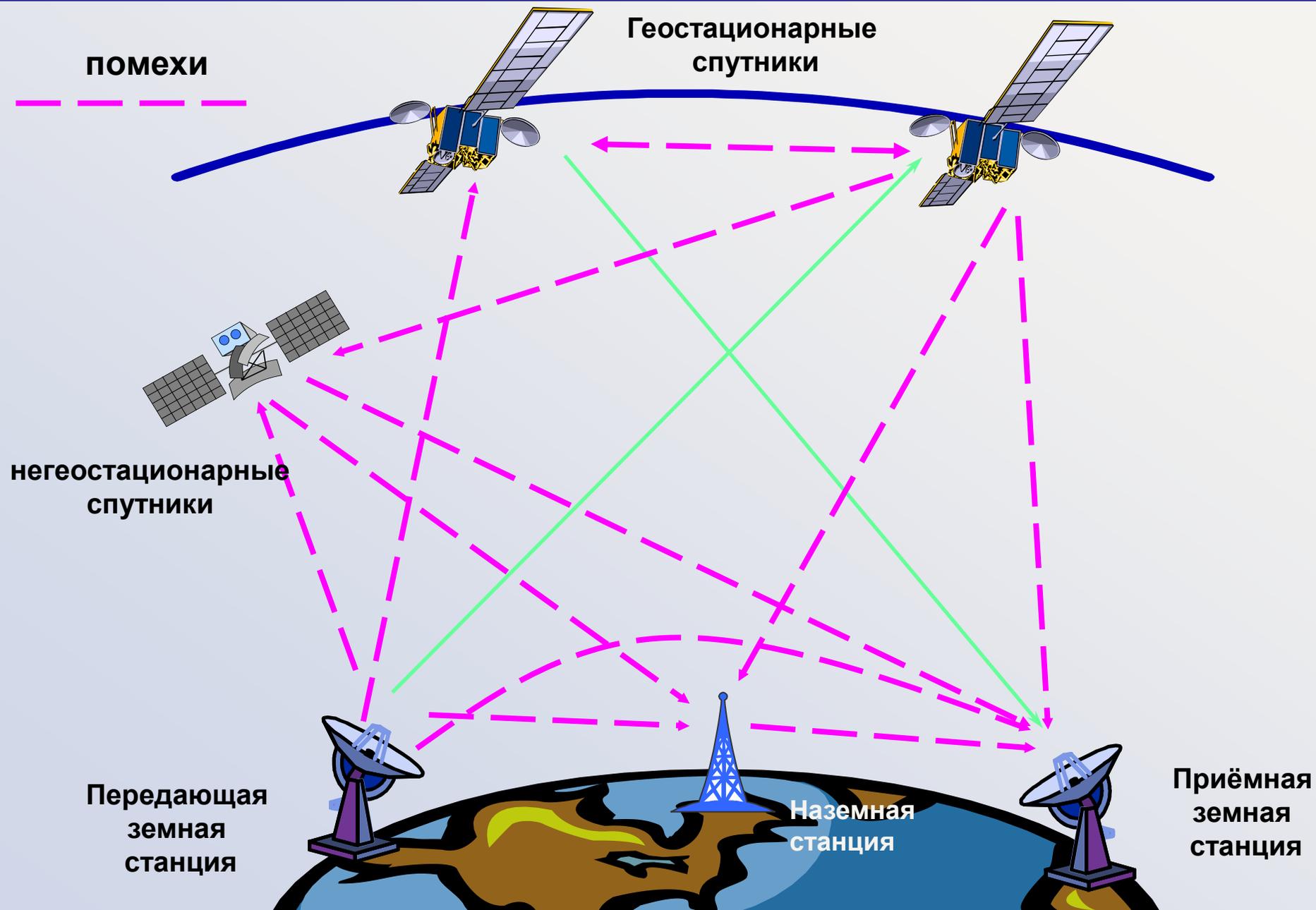
Построение систем – системы телевизионного и звукового радиовещания

- ◆ **Рек. МСЭ-R ВО.1516-01 (2012)** – Цифровые многопрограммные телевизионные системы, предназначенные для использования спутниками, работающими в диапазоне частот 11/12 ГГц.

В Рекомендации указаны общие функциональные требования для четырех спутниковых цифровых многопрограммных приемных систем телевизионного и звукового радиовещания, а также передачи данных.

В Приложении 1 приведены общие функциональные требования для приема излучений цифрового многопрограммного телевидения от спутников, работающих в диапазоне 11/12 ГГц и характеристики систем (*включая: обобщённую эталонную модель цифровых многопрограммных систем передачи, типовые элементы систем передачи, сводные характеристики и сравнение цифровых многопрограммных телевизионных систем с использованием спутников и конкретные характеристики систем А, В, С и D*).

Оценка ЭМС и определение требований по координации





Критерии защиты и оценка

электромагнитной совместимости систем

- ◆ **Рек. МСЭ-R S.524-9 (2006)** – Максимально допустимые уровни плотности внеосевой э.и.и.м., создаваемой земными станциями в геостационарных спутниковых сетях работающими в фиксированной спутниковой службе, ведущих передачу в полосах частот 6 ГГц, 13 ГГц, 14 ГГц и 30 ГГц
- ◆ **Рек. МСЭ-R S.741-2 (1994)** – Расчёт отношения несущая-помеха между сетями фиксированной спутниковой службы
- ◆ **Рек. МСЭ-R S.1899-0 (2012)** – Критерии защиты и методы оценки помех для межспутниковых линий НГСО в полосе 23,183–23,377 ГГц в отношении службы космических исследований)
- ◆ ***и другие***



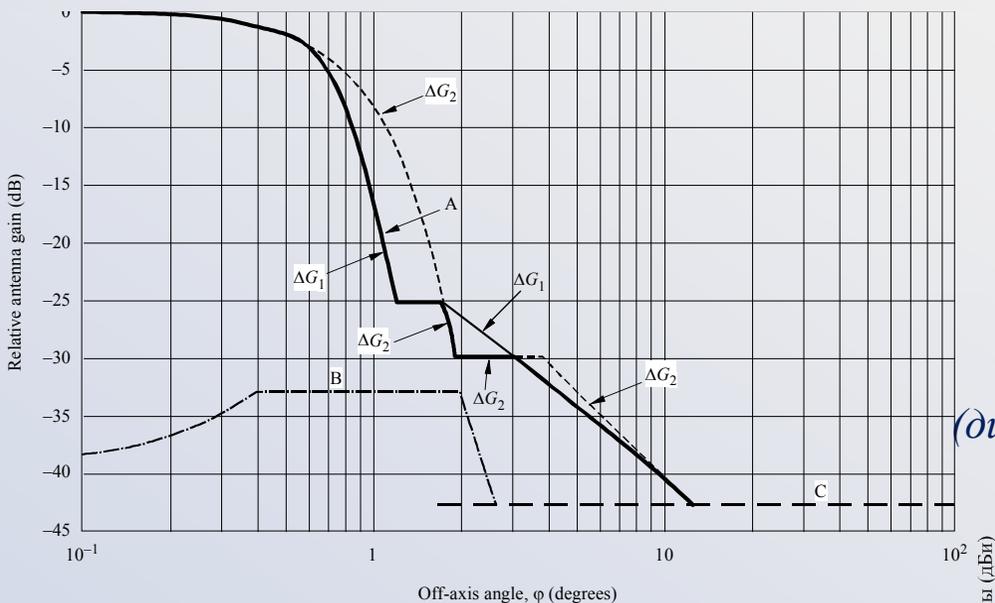
Компоненты систем – антенные устройства

- ◆ **Рек. МСЭ-R S.465-6 (2010)** – Эталонная диаграмма направленности антенн земных станций фиксированной спутниковой службы для использования при координации и оценке помех в диапазоне частот от 2 до 31 ГГц
- ◆ **Рек. МСЭ-R S.580-6 (2007)** – Технические характеристики радиointерфейсов для глобальных широкополосных спутниковых систем
- ◆ **Рек. МСЭ-R ВО.1213-1 (2005)** – Эталонная диаграмма направленности приемной антенны земной станции для радиовещательной спутниковой службы в полосе частот 11,7–12,75 ГГц
- ◆ **Рек. МСЭ-R ВО.1445-0 (2000)** – Улучшенная диаграмма направленности передающей спутниковой антенны с быстрым спадом для Приложения S30
- ◆ ***и другие***

Рек. МСЭ-R ВО.1445 – улучшенная диаграмма приёмной антенны спутниковой станции для Районов 1 и 3

Примеры моделей антенн

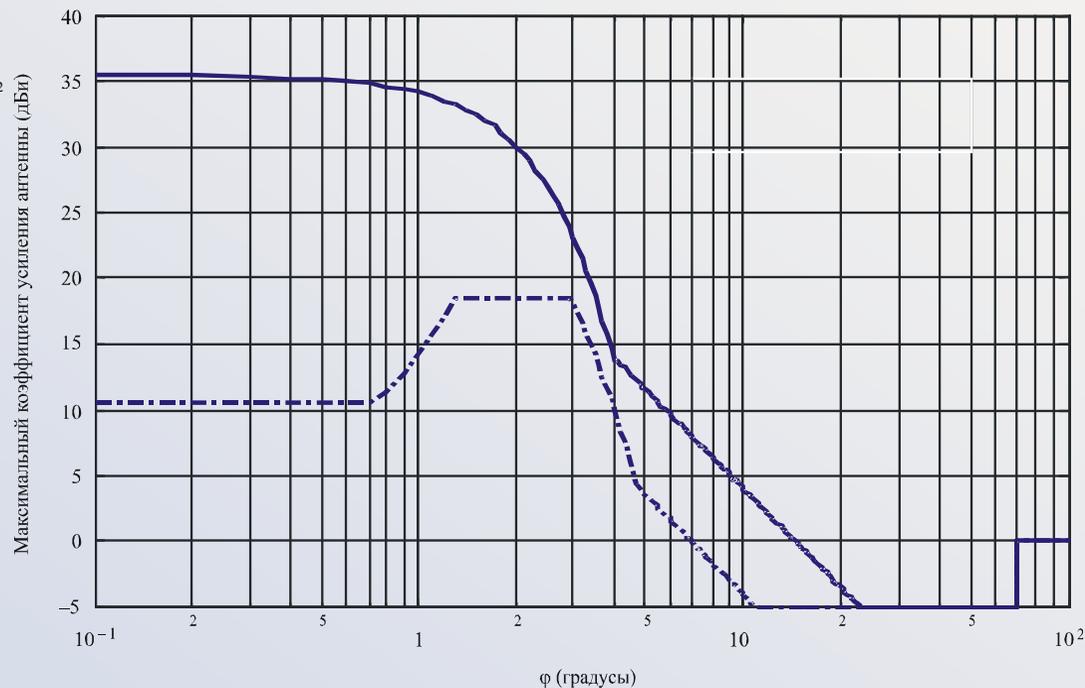
Рек. МСЭ-R ВО.1213 – эталонная диаграмма направленности приёмной антенны земной станции (диам. 60 см; использовалась при планировании на ВКР-2000)



- Regions 1 and 3 transmitting fast roll-off co-polar (Curve ΔG_1)
- Improved fast roll-off co-polar (Curve A defined as ΔG below)
- - - Regions 1 and 3 transmitting co-polar (Curve ΔG_2)
- · - Improved fast roll-off cross-polar (Regions 1 and 3 transmitting cross-polar) (Curve B)
- · - Curve C (minus the on-axis gain)

Note 1 – The diagram gives the example curves in case of a satellite antenna beamwidth of $\phi_0 = 1.2^\circ$ (circular).

1445-01



- Плоскость основной поляризации
- - - Плоскость кросс-поляризации



Компоненты систем – VSAT

- ◆ **Рек. МСЭ-R S.725-0 (1992)** – Технические характеристики терминалов с антеннами очень малой апертуры (VSATs)
- ◆ **Рек. МСЭ-R S.726-0 (1993)** – Максимально разрешённый уровень внеполосных излучений терминалов с антеннами очень малой апертуры (VSATs)
- ◆ **Рек. МСЭ-R S.729-0 (1992)** – Контроль и мониторинг функционирования терминалов с антеннами очень малой апертуры (VSATs)
- ◆ **Рек. МСЭ-R S.1844-0 (2009)** – Эталонная диаграмма направленности при кроссполяризации для станций с линейно поляризованными антеннами очень малой апертуры (VSAT) для частот в диапазоне от 2 до 31 ГГц
- ◆ ***и другие***



Некоторые Рекомендации МСЭ-R по широкополосному доступу (ШПД) на базе использования спутниковых систем

- ◆ **Рек. МСЭ-R S.1782-0 (2007)** – Возможности для глобального широкополосного доступа в интернет для систем фиксированной спутниковой службы
- ◆ **Рек. МСЭ-R S.1709-1 (2007)** – Технические характеристики радиointерфейсов для глобальных широкополосных спутниковых систем
- ◆ **Рек. МСЭ-R S.1711-1 (2010)** – Улучшения характеристик протокола управления передачей по спутниковым сетям
- ◆ **Рек. МСЭ-R S.1783-0 (2007)** – Технические и эксплуатационные свойства, характеризующие применения высокой плотности в фиксированной спутниковой службе
- ◆ **Рек. МСЭ-R ВО.1784-0 (2007)** – Цифровая спутниковая система радиовещания с гибкой конфигурацией (телевизионная, звуковая и передачи данных)
- ◆ **Рек. МСЭ-R ВО.1724-1 (2007)** – Интерактивные спутниковые радиовещательные системы (телевизионные, звуковые и информационные)
- ◆ **Рек. МСЭ-R M.1850-1 (2012)** – Подробные технические характеристики радиointерфейсов для спутникового сегмента Международной подвижной связи-2000 (IMT-2000) **и другие ...**

Рек. МСЭ-R S.1782-0 – Возможности для глобального широкополосного доступа в Интернет для систем ФСС

В Рекомендации производится оценка возможностей различных сетей ФСС для доступа в Интернет используя:

- различные полосы частот (11/14, 20/30, 40/50 ГГц);
- сети ФСС высокой плотности;
- большие и до 7,6 м и очень маленькие антенны земных станций ~0,30 см (USAT);
- узкие лучи спутниковых антенн;

Приводятся типичные структуры и параметры систем, полученные на базе данных, предоставленных администрациями.

Произведён расчёт предельно-возможных и практически реализуемых характеристик (напр. пропускной способности) сетей, а также «бюджета» линий «вверх» и «вниз».

Приведён пример структуры и характеристик системы «коллективного» пользования, использующей «местное наземное» распределение.

Зоны обслуживания 12 лучей
в полосах частот 11/14 ГГц

Зоны обслуживания 32 лучей
в полосах частот 20/30 ГГц

Зоны обслуживания 64 лучей
в полосах частот 40/50 ГГц

Рек. МСЭ-R S.1782-0 - примеры:

- **Первый пример:** определены подходящие полосы частот для систем ФСС и характеристики линий вверх и вниз для линий непосредственной спутниковой связи с терминалами, использующими антенны диаметром 30 см.
- **Второй пример:** разработаны характеристики линий вверх и вниз для системы, которая содержит линии непосредственной связи со спутником терминалов пользователей с антеннами диаметром 1,2 м.
- **Третий пример:** разработаны характеристики примерной системы, основанной на доступе пользователя через наземные линии радиосвязи к "коллективным" земным станциям и оттуда через спутник к центральной земной станции.

Соображения, касающиеся полос частот:

- **4/6 ГГц:** эти полосы частот не очень пригодны для обеспечения интерактивного доступа к Интернет так как отсутствует возможность использования дешевых антенн малого размера, а также в связи с тем, что эти полосы частот уже интенсивно используются;
- **11/14 ГГц:** полосы частот уже интенсивно используются;
- **20/30 ГГц:** полосы частот являются наиболее подходящими для обеспечения интерактивного доступа к Интернет в настоящее время и в ближайшем будущем; технология достаточно хорошо разработана
- **40/50 ГГц:** технология еще недостаточно хорошо разработана



Выводы, касающиеся использования спутниковых систем для ШПД

- Технология спутниковой связи способна повысить доступность высокоскоростных услуг интернета в развивающихся странах и странах с переходной экономикой.
- Полосы частот, распределенные ФСС, в краткосрочной, среднесрочной и долгосрочной перспективе могут использоваться для высокоскоростных услуг интернета на глобальном уровне.
- Системы ФСС предоставляют возможность высокоскоростного доступа в Интернет на глобальном уровне вне зависимости от специфических географических и демографических условий.

Использование систем ФСС является экономически обоснованным особенно в труднодоступных районах, а также территориях с низкой плотностью населения.

Рек. МСЭ-R Рек. МСЭ-R S.1709-1 – Технические характеристики радиointерфейсов для глобальных широкополосных спутниковых систем

В Рекомендации предлагаются характеристики радиointерфейса, которые могут быть использованы в качестве руководства разработчиками широкополосных спутниковых сетей:

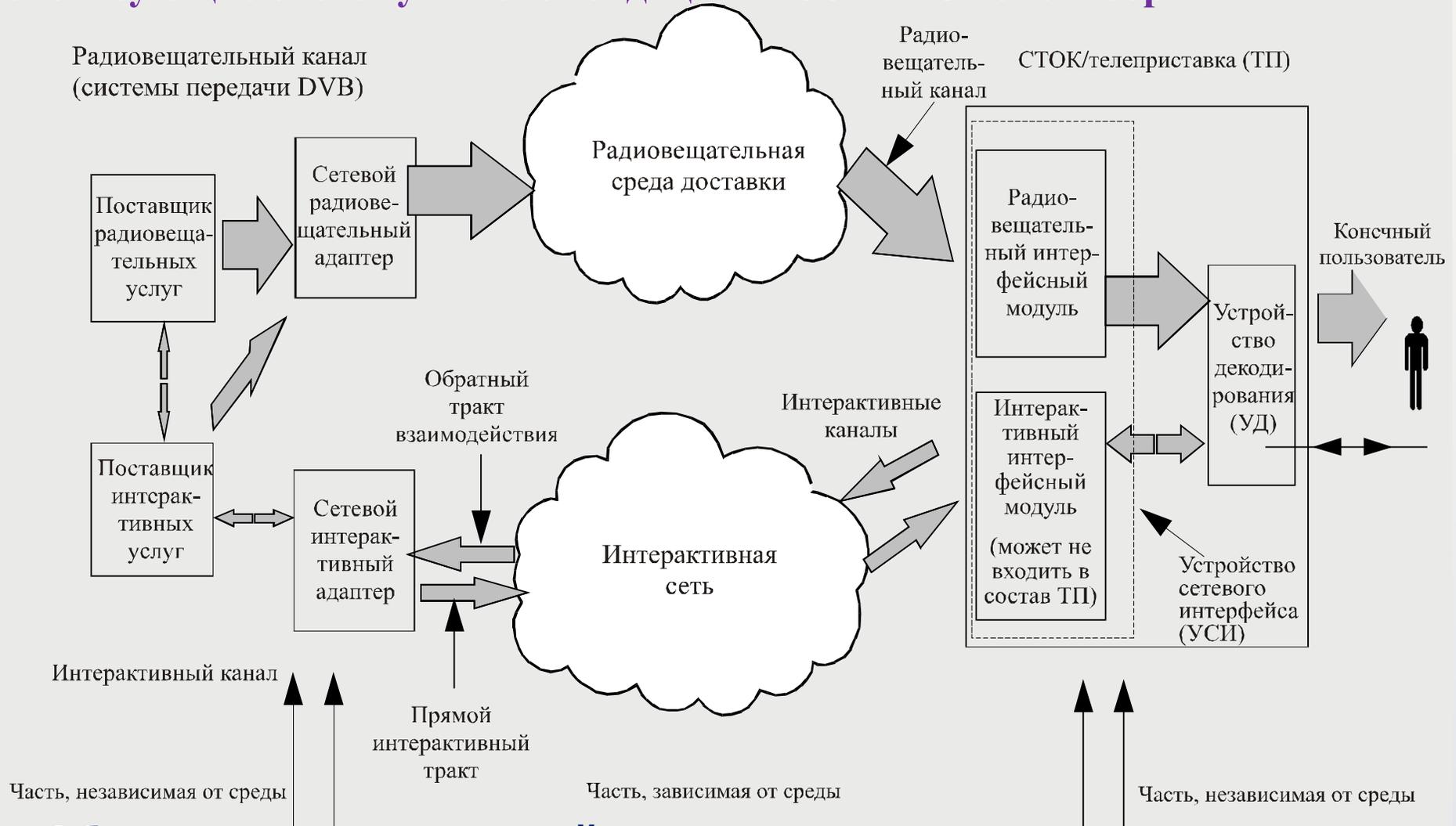
- **Приложение 1 – общее описание сетевой архитектуры широкополосных спутниковых сетей.**

Каждое из остальных приложений содержит краткое изложение существующих стандартов на радиointерфейс:

- **Приложение 2 – стандарт TIA-1008-A, относящийся к передаче данных на основе протокола Интернет по каналам спутниковой связи (IPoS);**
- **Приложение 3 – стандарт DVB-RCS, описанный в документе ETSI EN 301 790;**
- **Приложение 4 – спецификация радиointерфейса для глобальной широкополосной связи между земными станциями и регенерационными спутниками в соответствии со стандартом ETSI BSM/RSM-A.**

Рек. МСЭ-R ВО.1724-1 – Интерактивные спутниковые радиовещательные системы (телевизионные, звуковые и информационные)

Описываются интерактивные геостационарные спутниковые системы, использующие систему А Рекомендации МСЭ-R ВО.1516 и обратный канал.



Общая модель эталонной системы для интерактивных систем



Использование спутниковых систем радиосвязи и радиовещания в чрезвычайных ситуациях

- ◆ **Рек. МСЭ-R S.1001-02 (2010)** – Использование систем фиксированной спутниковой службы в случае стихийных бедствий и аналогичных чрезвычайных ситуаций для операций по предупреждению и оказанию помощи. Содержит информацию о диапазонах частот, используемых системами ФСС, которые могут быть использованы для раннего предупреждения и оказания помощи.
- ◆ **Рек. МСЭ-R ВО.1774-1/ВТ.1774-1 (2007)** – Использование инфраструктур спутникового и наземного радиовещания для предупреждения населения, смягчения последствий бедствий и оказания помощи при бедствиях. Приводятся характеристики систем спутникового и наземного радиовещания, которые используются для операций по смягчению последствий бедствий и оказанию помощи при бедствиях.



Использование спутниковых систем радиосвязи и радиовещания в чрезвычайных ситуациях

- ◆ **Рек. МСЭ-R S.1001-02 (2010)** – Использование систем фиксированной спутниковой службы в случае стихийных бедствий и аналогичных чрезвычайных ситуаций для операций по предупреждению и оказанию помощи

рекомендует

1 поощрять администрации учитывать глобальные и/или региональные полосы/диапазоны частот, определенные в таблице 1 для чрезвычайных ситуаций и операций по оказанию помощи, при осуществлении ими планирования на национальном уровне и проинформировать Бюро радиосвязи об этой информации при выполнении Резолюции 647 (ВКР-07);

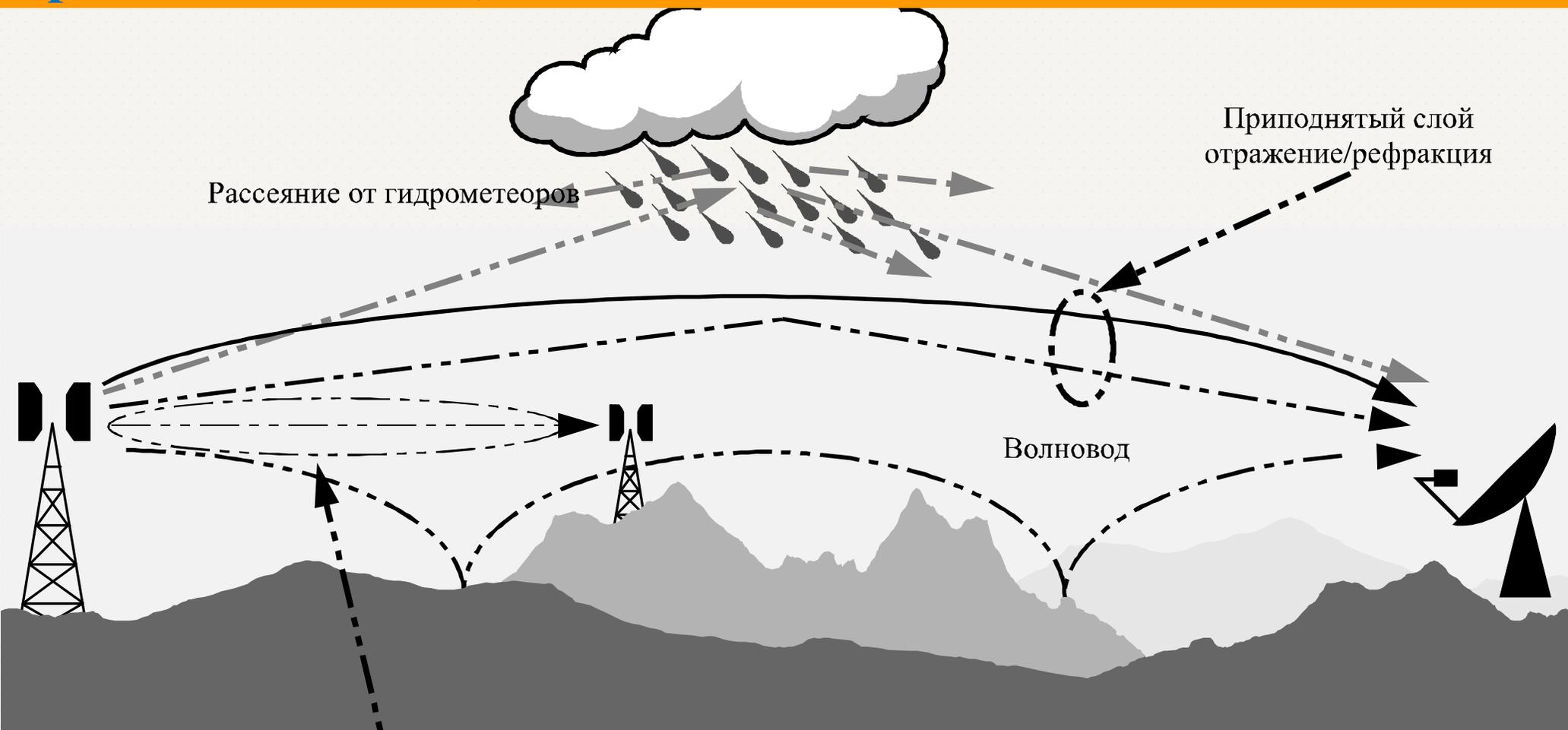
Частота (ГГц)	Распределение частот			Количество сетей (по состоянию на 2009 г.) ⁽¹⁾
	Район 1	Район 2	Район 3	
3,4–4,2	(космос-Земля)	(космос-Земля)	(космос-Земля)	приблиз. 160
5,725–5,85	(Земля-космос)			
5,85–6,7	(Земля-космос)	(Земля-космос)	(Земля-космос)	
10,95–11,2	(космос-Земля)	(космос-Земля)	(космос-Земля)	приблиз. 200
11,45–11,7	(космос-Земля)	(космос-Земля)	(космос-Земля)	
11,7–12,2		(космос-Земля)		
12,2–12,5			(космос-Земля)	приблиз. 30
12,5–12,75	(космос-Земля)		(космос-Земля)	
13,75–14,5	(Земля-космос)	(Земля-космос)	(Земля-космос)	
17,7–21,2	(космос-Земля)	(космос-Земля)	(космос-Земля)	приблиз. 30
27,5–31	(Земля-космос)	(Земля-космос)	(Земля-космос)	



Некоторые Рекомендации МСЭ-R по расчёту потерь распространения радиоволн

- ◆ **Рек. МСЭ-R P.1144-6 (2012)** – Руководство по использованию методов прогнозирования распространения радиоволн, разработанных 3-й Исследовательской комиссией по радиосвязи
- ◆ **Рек. МСЭ-R P.452-15 (2013)** – Процедура прогнозирования для оценки помех между станциями, находящимися на поверхности Земли, на частотах выше приблизительно 0,1 ГГц
- ◆ **Рек. МСЭ-R P.618-11 (2013)** – Данные о распространении радиоволн и методы прогнозирования, необходимые для проектирования систем связи Земля-космос
- ◆ **Рек. МСЭ-R P.620-6 (2005)** – Данные о распространении радиоволн, требующиеся для оценки координационных расстояний в диапазоне частот от 100 МГц до 105 ГГц
- ◆ ***и другие***

Рек. МСЭ-Р Р.452-15 – Процедура прогнозирования для оценки микроволновых помех между станциями, находящимися на поверхности Земли, на частотах выше приблизительно 0,1 ГГц



Линия прямой видимости
с усилением за счет многолучевости

Схема оценки распространения аномальных
(кратковременных) помех

Рекомендации МСЭ-R доступны бесплатно через Интернет по адресу: <http://www.itu.int/pub/R-REC/ru>

Полный список серий Рекомендаций:

ВО - Спутниковое радиовещание

BR - Запись для производства, архивирования и воспроизведения; пленки для телевидения

BS - Радиовещательная служба (звуковая)

BT - Радиовещательная служба (телевизионная)

F - Фиксированная служба

M - Подвижная спутниковая служба, спутниковая служба радиоопределения, любительская спутниковая служба и относящиеся к ним спутниковые службы

P - Распространение радиоволн

RA - Радиоастрономия

RS - Системы дистанционного зондирования

S - Фиксированная спутниковая служба

SA - Космические применения и метеорология

SF - Совместное использование частот и координация между системами фиксированной спутниковой службы и фиксированной службы

SM - Управление использованием спектра

SNG - Спутниковый сбор новостей

TF - Передача сигналов времени и эталонных частот

V - Словарь и связанные с ним вопросы

Рекомендации серий S, SF, ВО и M, по вопросам перечислены в документе 4A/3 (Rev.2); см. <http://www.itu.int/md/R12-SG04-C-0003/en>.



Отчёты Сектора радиосвязи по спутниковым системам

- ◆ Другими важными публикациями являются Отчёты МСЭ-R.
- ◆ Отчёты содержат результаты исследований, а также информацию об использовании различных спутниковых технологий и систем в различных странах.
- ◆ Серии Отчётов МСЭ-R созданы по аналогичному принципу, что и Рекомендации МСЭ-R, и поэтому следует обратить внимание на следующие серии:
 - **S** – Фиксированная спутниковая служба;
 - **SF** – Совместное использование полос частот и координация систем фиксированной спутниковой и фиксированной служб;
 - **VO** – Спутниковая доставка (*программ звукового и телевизионного радиовещания и данных*);
 - **M** – Подвижная служба, служба радио определения, любительская и соответствующие спутниковые службы;
 - **P** – Распространение радиоволн.



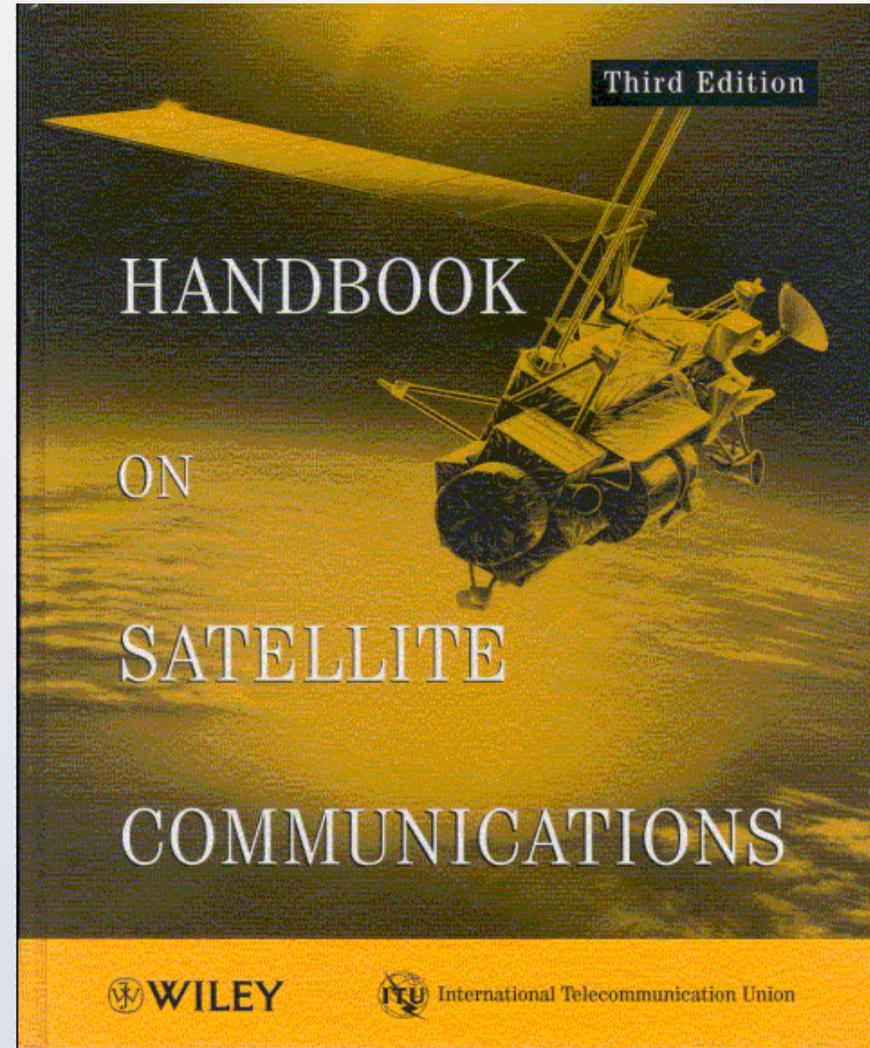
Справочник МСЭ-Р по спутниковой связи

Satellite Communications (Fixed-Satellite Services), Wiley, 2001, (Спутниковая связь (Фиксированная спутниковая служба)) – фундаментальный труд (~1100 страниц).

Описывает практически все основные аспекты создания спутниковых сетей.

Разрабатывался ведущими специалистами мира (в т.ч. с участием Др. Л.Я. Кантора).

Может рассматриваться как руководство по применению многих Рекомендаций МСЭ-Р.





Спасибо за внимание.

Ваши вопросы...