

# МСЭ-R

Сектор радиосвязи МСЭ

**Рекомендация МСЭ-R F.1891**  
(05/2011)

**Технические и эксплуатационные  
характеристики линий станций  
сопряжения в фиксированной службе,  
использующей станции на высотной  
платформе в полосе 5850–7075 МГц, для  
применения в исследованиях  
совместного использования частот**

**Серия F**  
**Фиксированная служба**



## Предисловие

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

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

### Политика в области прав интеллектуальной собственности (ПИС)

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

### Серии Рекомендаций МСЭ-R

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

Серия	Название
BO	Спутниковое радиовещание
BR	Запись для производства, архивирования и воспроизведения; пленки для телевидения
BS	Радиовещательная служба (звуковая)
BT	Радиовещательная служба (телевизионная)
<b>F</b>	<b>Фиксированная служба</b>
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

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

Электронная публикация  
Женева, 2011 г.

© ITU 2011

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

## РЕКОМЕНДАЦИЯ МСЭ-R F.1891\*

**Технические и эксплуатационные характеристики линий станций сопряжения в фиксированной службе, использующей станции на высотной платформе в полосе 5850–7075 МГц, для применения в исследованиях совместного использования частот**

(2011)

**Сфера применения**

В настоящей Рекомендации представлены технические и эксплуатационные характеристики линий станций сопряжения для станций на высотной платформе (HAPS) фиксированной службы в полосе 5850–7075 МГц. Она предназначена для предоставления администрациям информации о линиях станций сопряжения HAPS для применения в исследованиях совместного использования частот с системами ФС обычного типа, а также с системами и сетями других служб в вышеуказанной полосе и в соседних полосах. В тексте Рекомендации также содержится информация о связи между линиями станций сопряжения и пользовательскими линиями.

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

*учитывая,*

- a) что на ВКР-07 было признано, что было бы желательно обеспечить большую гибкость в выборе спектра для работы станций сопряжения с целью обеспечения функционирования сетей HAPS;
- b) что ВКР-07 предложила провести исследования для рассмотрения вопроса об определении спектра для линий станций сопряжения HAPS в диапазоне 5850–7075 МГц;
- c) что линии станций сопряжения HAPS могли бы использоваться для обеспечения работы фиксированной и подвижной служб;
- d) что линии станций сопряжения HAPS в этой полосе потребовалось бы использовать совместно с системами, работающими в фиксированной, подвижной и фиксированной спутниковой службах, и что они могут оказывать воздействие на пассивные службы, такие как спутниковая служба исследования Земли (ССИЗ) и радиоастрономия;
- e) что количество линий станций сопряжения в системе HAPS ограничивалось бы и потребовалось бы применять антенны с более высокими качественными показателями и бóльшую мощность передачи по сравнению с пользовательскими линиями, что позволило бы использовать методы модуляции более высокого порядка и более сложное кодирование;
- f) что на основе пункта e) раздела *учитывая* линии станций сопряжения HAPS были бы более эффективными с точки зрения использования спектра, чем пользовательские линии;
- g) что технические и эксплуатационные характеристики линий станций сопряжения HAPS в ФС требуются для того, чтобы проводить исследования совместного использования частот с системами ФС других типов и с системами и сетями других служб в полосе 5850–7075 МГц, а также для учета внеполосных излучений службам или от служб в соседних или близлежащих полосах частот,

*признавая,*

- a) что в Резолюции 734 (Пересм. ВКР-07) учитывается, что желательно, чтобы имелись надлежащие положения для линий станций сопряжения для обслуживания операций HAPS;

---

\* Настоящая Рекомендация была подготовлена в поддержку пункта 1.20 повестки дня Всемирной конференции радиосвязи 2012 года (ВКР-12). В случае если ВКР-12 не определит спектр для линий сопряжения станций на высотной платформе в этой полосе частот, данная Рекомендация будет исключена.

b) что в Резолюции 734 (Пересм. ВКР-07) также решается предложить МСЭ-R расширить исследования совместного использования частот с целью определения двух каналов по 80 МГц каждый для линий станций сопряжения HAPS в диапазоне 5850–7075 МГц в полосах, которые уже распределены фиксированной службой, обеспечивая при этом защиту существующих служб,

*рекомендует,*

1 чтобы технические и эксплуатационные характеристики линий станций сопряжения HAPS, содержащиеся в Приложении 1 к настоящей Рекомендации, использовались при проведении анализа технической возможности совместного использования частот с применением линий станций сопряжения HAPS в полосе частот 5850–7075 МГц.

## Приложение 1

### Технические и эксплуатационные характеристики линий станций сопряжения для станций на высотной платформе в фиксированной службе, работающей в полосе 5850–7075 МГц

#### 1 Введение

Описанные здесь технические и эксплуатационные характеристики систем HAPS основаны на реализуемой общей конструкции полезной нагрузки HAPS, ее стратосферной платформы и сети.

#### 2 Стабильность платформы HAPS

Стабильность движения HAPS по отношению к Земле достигается путем контролируемого полета в воздушном потоке, характеризующемся низкой плотностью, устойчивым притоком, низкой скоростью и отсутствием турбулентности, который существует на определенных стратосферных высотах. HAPS работает в номинально фиксированном местоположении в стратосфере на высоте 20–25 км. Относительно плавный приток воздушного потока в сочетании с современными проектными решениями в области силовых установок, аэродинамики, термодинамики и материалов обеспечит стабильный и контролируемый полет, который приведет к точному сохранению позиции и минимальному вращению вокруг оси (танчаж, крен, рысканье). Быстрота изменения скорости стратосферных ветров вполне соответствует возможностям силовых систем и систем управления платформой сохранять желаемые положение и курс. Таких же уровней сохранения стабильности, высоты и позиции могут достигать платформы, которые тяжелее воздуха (НТА) и которые легче воздуха (ЛТА).

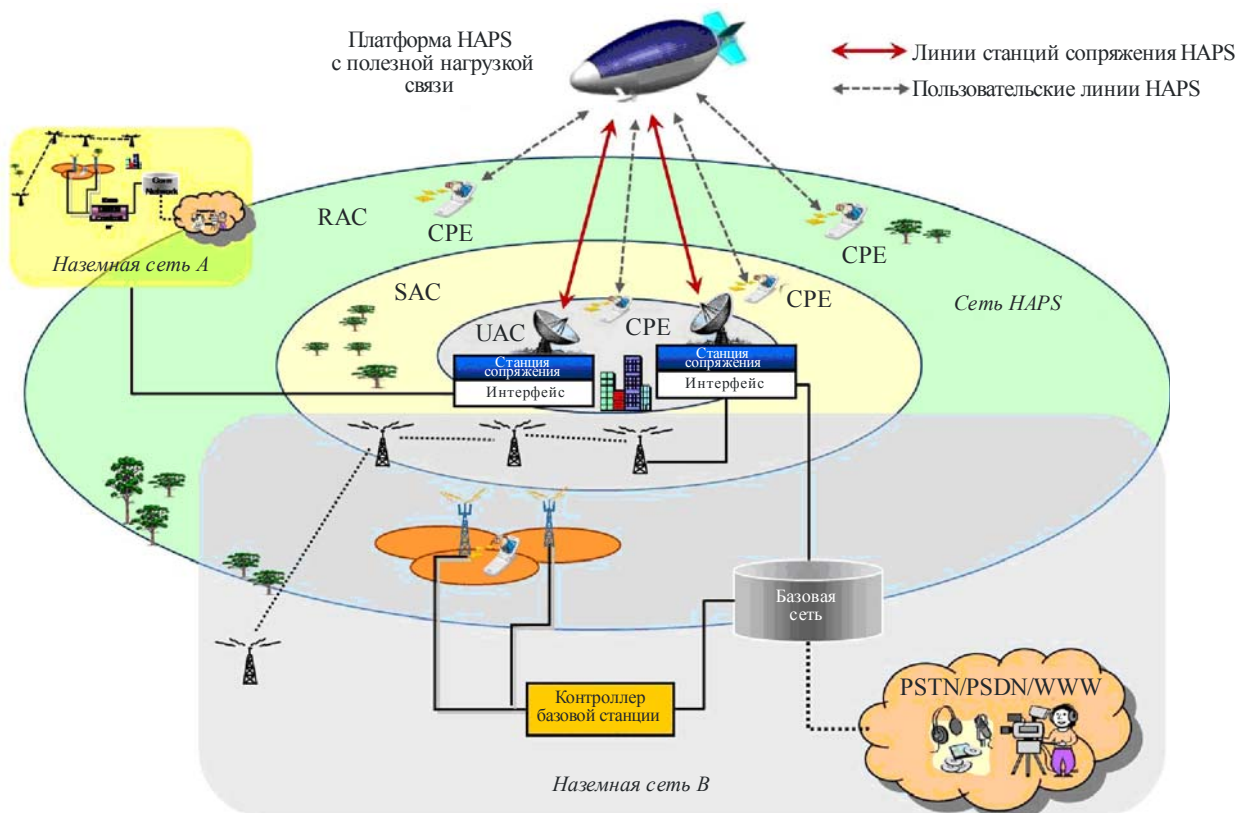
Как правило, HAPS будет эффективно сохранять свою позицию в пределах 0,5 км, изменение в курсе будет составлять менее  $1/2^\circ/\text{ч}$ , изменения высоты – менее 45 м/ч и практически не будет вращения вокруг оси. Кроме того, применение на HAPS и ее наземных станциях управляемых с помощью электронных средств антенн с формированием луча будет также способствовать обеспечению направленности, избирательности и эффективности линий станций сопряжения и легко нейтрализовать любое минимальное движение платформы.

#### 3 Сетевая архитектура HAPS

Станции HAPS способны нести разнообразную полезную нагрузку беспроводной связи, которая может доставлять конечным пользователям широкополосные услуги с высокой пропускной способностью. На рисунке 1 показана сетевая архитектура высокого уровня сети электросвязи на основе HAPS, которая более подробно описывается в этом и в других последующих разделах. Существует два типа связи между полезной нагрузкой и наземным оборудованием: линии станций сопряжения и пользовательские линии. В тексте настоящей Рекомендации описываются только технические и эксплуатационные характеристики линий станций сопряжения HAPS, которые предлагаются для работы в полосе 5850–7075 МГц.

РИСУНОК 1

## Конфигурация сети HAPS, включая линии станций сопряжения и пользовательские линии



F.1891-01

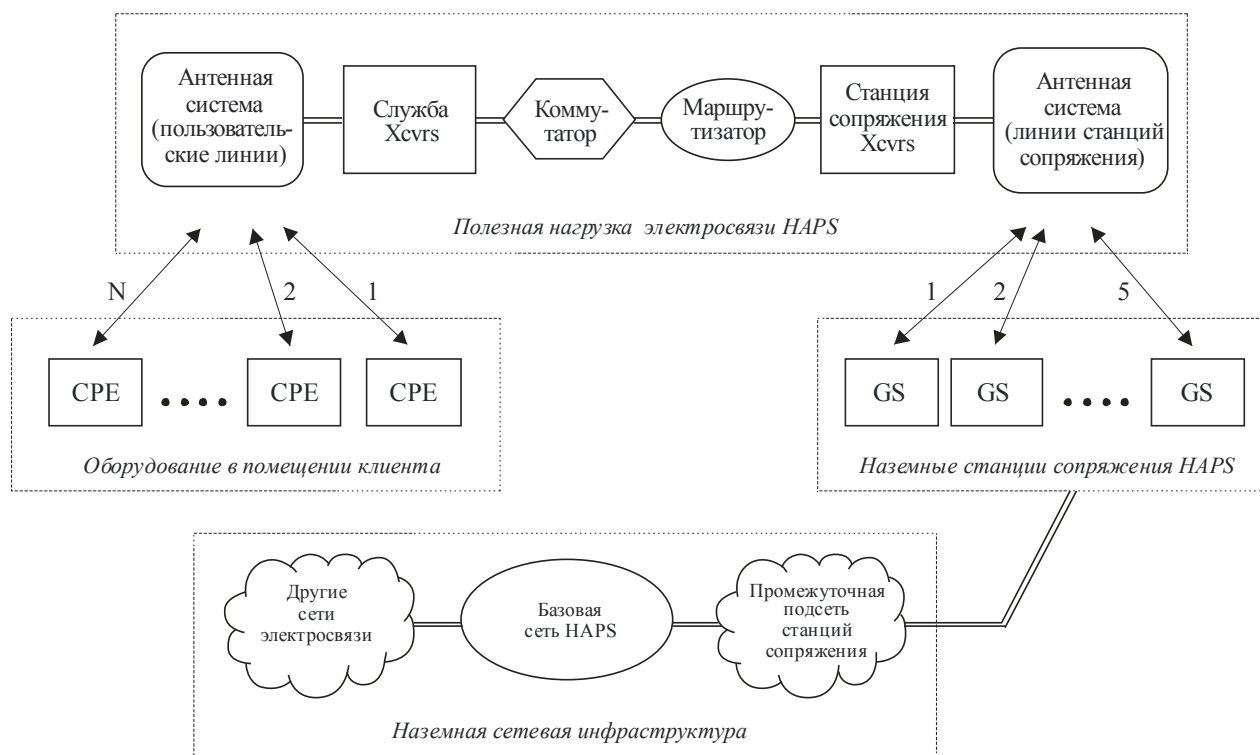
Для пользовательских линий связь осуществляется между платформой и оборудованием в помещении клиента (CPE) на земле при сотовом размещении, позволяющем в существенной степени повторно использовать частоты. CPE описывается как расположенное в одной из трех зон – городской, пригородной и сельской зонах покрытия (UAC, SAC и RAC, соответственно)<sup>1</sup>. CPE HAPS может осуществлять связь с полезной нагрузкой непосредственно на платформе HAPS, и связь между CPE HAPS коммутируется с помощью полезной нагрузки, содержащей крупный коммутатор, через пользовательские линии. Передаваемый от CPE HAPS сигнал передается в приемную часть полезной нагрузки платформы HAPS. Находящийся в полезной нагрузке бортовой коммутатор определяет соту для соединения сигнала. Затем сигнал передается в соту, где имеется другое CPE HAPS, которое требуется подключить. Следует подчеркнуть, что согласно соответствующим положениям РР в пользовательских линиях используется спектр частот за пределами полосы 5850–7075 МГц. Для линий станций сопряжения связь в полосе 5850–7075 МГц устанавливается между платформой и станциями сопряжения на земле, расположенными в UAC, которые обеспечивают присоединение к другим сетям электросвязи.

Архитектура полезной нагрузки электросвязи HAPS состоит из шести базовых подсистем, как это показано на рисунке 2.

<sup>1</sup> См. Рекомендацию МСЭ-R F.1500, где приводится более подробное описание этих зон покрытия.

РИСУНОК 2

## Архитектура сети электросвязи HAPS



F.1891-02

Центральные подсистемы коммутации и маршрутизации соединяют приемопередатчики и антенны станций сопряжения с участком доставки услуги в полезной нагрузке (антенны и приемопередатчики). Подсистемы доставки услуг содержат прямые пользовательские линии (HAPS-CPE), которые полностью отделены и отличны от линий станций сопряжения HAPS. Сетевое управление, сетевые соединения электросвязи и другие функции базовой сети содержатся в наземном участке инфраструктуры сети.

Кроме того, потребуется соединительная наземная подсеть для управления, внедрения и обеспечения наземной концентрации и соединения для всех линий станций сопряжения с базовой сетью. Для каждой из пяти станций сопряжения потребуется базовая волоконно-оптическая линия передачи данных до базовой сети со скоростью порядка 1 Гбит/с на каждую станцию сопряжения. Топология сети станции сопряжения HAPS показана на рисунках 1, 2 и 3.

#### 4 Описание и использование линий станций сопряжения HAPS

Согласно определению, используемому в настоящем документе<sup>2</sup>, линия станции сопряжения HAPS – это односторонняя радиолиния между относительно фиксированной платформой HAPS и станцией сопряжения HAPS. В частности, линия станции сопряжения HAPS состоит из отдельной линии вверх с шириной полосы 80 МГц (земля-воздух) и отдельной линии вниз с шириной полосы 80 МГц (воздух-земля). В рамках каждой полосы шириной 80 МГц линия станции сопряжения HAPS действует в одном направлении и содержит потоки информации, такие как агрегированный трафик конечного пользователя для голосовой связи, передачи данных и изображений. В линии станции сопряжения HAPS также может содержаться информация телеметрии, слежения, управления и

<sup>2</sup> В рамках настоящей Рекомендации "линия станции сопряжения HAPS" – это радиолиния от наземной станции сопряжения HAPS в конкретном местоположении до платформы HAPS, или в обратном направлении, по которой передается информация для линии связи HAPS, включая телеметрию и телеуправление, и которая обеспечивает присоединение к другим наземным сетям электросвязи.

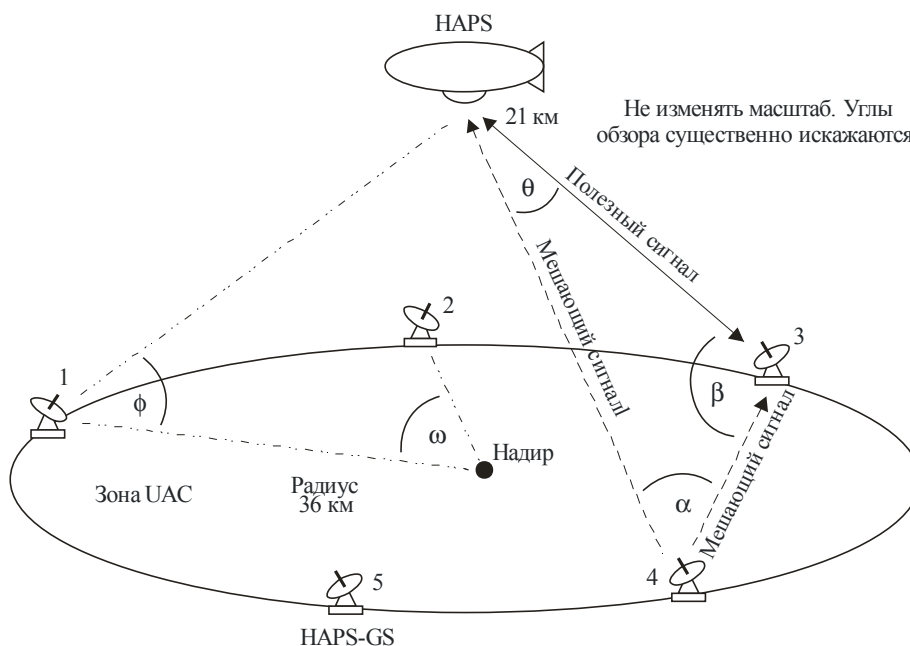
контроля, касающаяся работы самой HAPS. Каждые 80 МГц ширины полосы станции сопряжения HAPS можно разделить на ряд подканалов, при этом все подканалы поддерживают радиолинии в одном и том же направлении (воздух-земля или земля-воздух) с использованием любых методов поляризации, модуляции и кодирования.

Одна платформа HAPS будет использовать максимально пять станций сопряжения для обеспечения максимальной предполагаемой нагрузки трафика для всей этой платформы. Количество линий станций сопряжения, развертываемых для каждой HAPS, зависит от объема трафика применений конечных пользователей, который должна поддерживать сеть или система на базе HAPS на основе соединительных линий. По мере увеличения фактического трафика можно развертывать больше линий станций сопряжения на той же частоте (максимально пять, если требуется). На рисунке 3 показана максимальная наземная конфигурация из пяти линий станций сопряжения на одной и той же частоте, в которой повторно используется частотный спектр  $2 \times 80$  МГц, определенный для использования HAPS, и эту конфигурацию следует применять в исследованиях совместного использования частот.

Платформы HAPS желательно располагать на расстоянии порядка 300–1000 км друг от друга. Каждая соответствующая станция сопряжения обслуживает одну HAPS. Как правило, сеть станций сопряжения не будет пересекаться с сетью станций сопряжения соседней HAPS. Сеть станций сопряжения скорее всего будет находиться в пределах окружности диаметром примерно 72 км с центром, расположенным вблизи наземной точки надира HAPS, как проиллюстрировано на рисунке 3. Как показано в этой конфигурации станций сопряжения (GS) HAPS, угол места  $\Phi$  относительно надира HAPS составляет  $30^\circ$  для показанной зоны UAC.  $\beta$  – это угол на полезной станции сопряжения между платформой HAPS и мешающей станцией сопряжения.  $\alpha$  – это угол на мешающей станции сопряжения между платформой HAPS и полезной станцией сопряжения. Углы  $\alpha$  и  $\beta$  составляют  $59,4$  или  $34,6^\circ$ , в зависимости от конкретных пар станций сопряжения и их соответствующей геометрии.  $\theta$  – угол на HAPS между полезной станцией сопряжения HAPS для этой линии и конкретной мешающей станцией сопряжения HAPS, который составляет  $61$  или  $111^\circ$ .  $\omega$  – угол на наземной точке надира между любыми двумя станциями сопряжения. В таблице 1 представлена краткая информация о четырех углах ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\theta$ ,  $\Phi$ ) для всех различных сочетаний пар станций сопряжения. В таблице 2 содержится краткая информация о пяти возможных углах для  $\omega$ .

РИСУНОК 3

Пример конфигурации станций сопряжения HAPS и внутренних помех в сети HAPS



Следует подчеркнуть, что нельзя изменять масштаб рисунка 3.

ТАБЛИЦА 1

## Углы линий станций сопряжения HAPS (в градусах)

$\Phi$	$\theta$	$\beta$	$\alpha$	Пары станций <sup>(1)</sup>
30	61	59,4	59,4	1-2, 2-1, 2-3, 3-2, 3-4, 4-3, 4-5, 5-4, 1-5, 5-1
30	111	34,6	34,6	1-3, 3-1, 2-4, 4-2, 3-5, 5-3, 1-4, 4-1, 2-5, 5-2

<sup>(1)</sup> Пары станций X-Y, где X – полезная станция, а Y – мешающая станция.

ТАБЛИЦА 2

## Углы разноса наземной станции (в градусах)

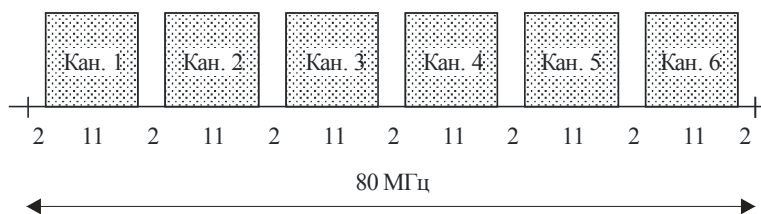
$\omega$	Пары станций
0	1-1
72	1-2
144	1-3
216	1-4
288	1-5

## 5 Определение и размещение каналов в спектре

Определение спектра для линий станций сопряжения HAPS, как предполагается, будет следующим: два канала по 80 МГц в полосе 5850–7075 МГц<sup>3</sup> общей шириной 160 МГц. План размещения подканалов может использоваться для разделения каждого канала шириной 80 МГц на шесть равно разнесенных подканалов по 11 МГц, отделенных защитными полосами по 2 МГц, как это показано на рисунке 4. Вероятно, можно было бы использовать и другие частотные планы размещения подканалов<sup>4</sup>, но в исследованиях совместного использования частот следует применять план размещения каналов, который показан на рисунке 4. Все подканалы в пределах каждой полосы шириной 80 МГц всегда используются для того, чтобы обеспечить радиопередачи в одном и том же направлении. Будет использоваться только FDD/FDM.

РИСУНОК 4

## План размещения каналов HAPS для канала вверх или канала вниз



F.1891-04

<sup>3</sup> См. Резолюцию 734 (Пересм. ВКР-07).

<sup>4</sup> Например, два подканала по 34 МГц с защитными полосами по 4 МГц, при этом каждый подканал является FDD.



Местоположение спектра для линий станций сопряжения HAPS в полосе 5850–7075 МГц в существенной степени будет зависеть от факторов взаимных помех между службами, совместно использующими спектр. Полезная нагрузка HAPS, а также архитектура и конструкция наземной станции обеспечивают гибкость в эксплуатации линий станций сопряжения практически в любом месте в полосе 5850–7075 МГц. В последующих подробных исследованиях совместного использования частот будет установлено оптимальное местоположение для определения спектра HAPS.

Следует отметить, что спектр линий станций сопряжения HAPS будет находиться в другой полосе частот, чем отдельные пользовательские линии между платформой HAPS и ее CPE на земле, как это показано на рисунке 1.

## 6 Характеристики линий станций сопряжения HAPS

В таблице 3 приводятся данные анализа типовой линии станции сопряжения HAPS для линий вверх и линий вниз, а также показаны значения различных параметров линии, использующей модуляцию 64-QAM 2/3. Следует отметить, что этот случай (случай 64-QAM 2/3 в таблице 3) следует применять в исследованиях совместного использования частот для определения совместимости в полосе частот 5850–7075 МГц.

Бюджет линии станции сопряжения основан на подканале 11 МГц (плюс защитные полосы)<sup>5</sup>, который соответствует скорости передачи подканала 44 Мбит/с<sup>6</sup> при 64-QAM 2/3. Высокие показатели готовности и ошибок по битам порядка 99,999% и  $10^{-9}$ , соответственно, имеют большое значение для линий станций сопряжения, с тем чтобы обеспечивать высокое качество обслуживания применения конечного пользователя и предоставляемой услуги. При этом анализе линии производится расчет плотности потока мощности (п.п.м.) и запаса в направлениях прицеливания антенн. п.п.м. и уровень излучаемой мощности будут существенно уменьшаться в зависимости от характеристик диаграмм направленности антенны и угла смещения от направления прицеливания. Кроме того, использование антенн с формированием луча может обеспечивать дополнительное взаимное ослабление влияния помех. Поэтому такой анализ бюджета линии представляет собой сценарий наихудшего случая, в том что касается помех HAPS другим системам и от других систем.

Кроме того, в бюджеты линии включаются первоначальные оценки внутренних помех от других линий станций сопряжения на тех же частотах, поддерживающих те же самые системы HAPS. Были оценены случаи с одной, тремя и пятью станциями сопряжения, с тем чтобы определить увеличение помех и соответствующее уменьшение запаса. В случаях помех от трех GS использовались полезная GS 4 и нежелательные (мешающие) GS 1 и 2. В случае 64-QAM 2/3, приведенном в таблице 3, и как использовалась мощная фазированная антенная решетка для платформы HAPS, так и для GS. Используемые для бюджета этой линии маски диаграммы усиления антенны подробно описаны в пункте 8 настоящего документа. Этот случай следует применять для исследования совместного использования частот. Следует отметить, что фазированная антенная решетка, применяемая на платформе HAPS и GS, уменьшит уровень помех системам существующих служб и обеспечит более эффективное совместное использование частот с такими службами. В таблице 3 также приведен бюджет линии для условий ясного неба, а скорость выпадения дождя в 0,01% ( $R_{0,01}$ ) была принята на уровне 63 мм/ч.

---

<sup>5</sup> Подканал 34 МГц (плюс защитные полосы) приводит к такому же запасу на линии.

<sup>6</sup> На основе использования модуляции 64-QAM со скоростью кодирования 2/3 для линии станции сопряжения FDM.

ТАБЛИЦА 3

**Пример анализа бюджета линии станции сопряжения HAPS,  
использующей модуляцию 64-QAM 2/3**

Позиция	UAC – Дождь	UAC – Дождь	UAC – Ясное небо	UAC – Ясное небо
	TDM вниз (на несущую)	TDM верх (на несущую)	TDM вниз (на несущую)	TDM вверх (на несущую)
Частота (ГГц) <sup>(1)</sup>	6,5	6,6	6,5	6,6
Ширина полосы (МГц)	11	11	11	11
Мощность передатчика (дБВт)	-22	-19	-22	-19
Усиление антенны передатчика (дБи)	30	47	30	47
Потери на аппаратную реализацию (дБ)	4,1	4,1	4,1	4,1
Усиление регулировки мощности (дБ)	8,0	8,0	0,0	0,0
Номинальная э.и.и.м. (дБВт)	3,9	23,9	3,9	23,9
э.и.и.м. (дБВт) после регулировки мощности <sup>(2)</sup>	11,9	31,9	3,9	23,9
Наклонная дальность (км)	42,0	42,0	42,0	42,0
Потери в свободном пространстве (дБ)	141,2	141,3	141,2	141,3
Потери в атмосфере (дБ) <sup>(3)</sup>	0,3	0,3	0,3	0,3
Ослабление в дожде (дБ) (99,999% готовность) <sup>(3)</sup>	9,0	9,5	0,0	0,0
п.п.м. на земле (дБ(Вт/м <sup>2</sup> · МГц))	-111,2		-110,2	
G/T приемника (дБ/К)	17,5	0,0	17,5	0,0
Усиление антенны приемника (дБи)	47,0	30,0	47,0	30,0
Потери на поляризацию (дБ)	0,5	0,5	0,5	0,5
Постоянная Больцмана (дБ(Вт/К*Гц))	-228,6	-228,6	-228,6	-228,6
Скорость передачи (дБ(Гц))	76,4	76,4	76,4	76,4
$E_b/(N_0 + I_0)$ ( $I = 0$ ) (дБ)	30,6	32,5	31,6	34,0
$E_b/(N_0 + I_0)$ (3 GS) (дБ)	29,6	31,5	30,6	33,0
$E_b/(N_0 + I_0)$ (5 GS) (дБ)	28,6	30,5	29,6	32,0
Требуемое значение $E_b/(N_0 + I_0)$ (дБ) (64-QAM)	20,3	20,3	20,3	20,3
Требуемое значение $C/(N + I)$ $w/I = I_{tot}$ <sup>(4)</sup>	26,3	26,3	26,3	26,3
Запас ( $I=0$ ) (дБ)	10,3	12,2	11,3	13,7
Запас (3 GS) (дБ)	9,3	11,2	10,3	12,7
Запас (5 GS) (дБ)	8,3	10,2	9,3	11,7

(1) Указанная в таблице 3 частота соответствует центру полосы 5850–7075 МГц. Не предусматривается, что использование этой (конкретной) частоты помешает работе МСЭ-R по определению спектра в полосе 5850–7075 МГц для использования линиями станций сопряжения HAPS.

(2) Номинальная э.и.и.м. указывает на первоначальную настройку мощности. После автоматической регулировки мощности (АРС) мощность передатчика увеличивается в пределах от 0 до 8 дБ, в зависимости от уровня несущей. Следует отметить, что указанная выше э.и.и.м. применяется в UAC, а регламентарные защитные пределы и/или защитные пределы от помех могут применяться вне UAC. Антенна платформы HAPS не будет направлена на точку вне UAC.

(3) Ослабление в дожде и потери в атмосфере описаны в Рекомендациях МСЭ-R P.618 и МСЭ-R SF.1395, соответственно. Скорость выпадения дождя в 0,01% была принята на уровне 63 мм/ч.

(4)  $C/N = (E_b/N_0) \cdot \text{эффektivность использования спектра}$ <sup>(5)</sup>.

(5) В данном случае эффективность использования спектра составляет 4 бит/с/Гц.

## 7 Использование пропускной способности линий станций сопряжения HAPS

Линии станций сопряжения обеспечат пропускную способность для соединительных линий в целях обеспечения функционирования того типа службы и того применения, которые предлагаются конечным пользователям, а также соответствующую агрегированную нагрузку трафика конечного пользователя, направляемого по двунаправленным линиям станций сопряжения.

Минимальное требование к пропускной способности по скорости передачи станций сопряжения всей системы на уровне 2,67 Гбит/с<sup>7</sup> будет необходимо для обеспечения намеченной максимальной нагрузки трафика пользователя системы<sup>8</sup>. Это потребует значительного повторного использования частот установленного спектра шириной 160 МГц ( $2 \times 80$  МГц или  $4 \times 40$  МГц), который в настоящее время предполагается для использования линиями станций сопряжения систем электросвязи на базе HAPS в полосе 5850–7075 МГц. Пропускная способность по скорости передачи для спектра шириной 160 МГц в полосе 5850–7075 МГц составляет 2,67 Гбит/с при использовании пяти линий станций сопряжения на одной и той же частоте для каждой HAPS, метода модуляции/кодирования с эффективностью использования спектра на уровне 4 бит/с/Гц<sup>9</sup> и примерно 17% для защитных полос. Это означает, что спектр шириной 160 МГц будет повторно использоваться до пяти (5) раз, чтобы обеспечить при использовании этого спектра максимальную мощность линий станций сопряжения. Линии станций сопряжения в этой полосе спроектированы с применением схем модуляции и кодирования, которые обеспечивают высокую эффективность использования спектра (например, 64-QAM со скоростью кодирования 2/3), с тем чтобы в максимальной степени увеличить возможности каждой линии по скорости передачи. Кроме того, в имеющихся возможностях необходимо учитывать возможные отказы отдельных линий.

Самое важное, что в полосе 5850–7075 МГц не потребуется дополнительного спектра сверх 160 МГц и что спектр будет повторно использоваться до пяти раз, с тем чтобы обеспечить значительную эффективность повторного использования спектра.

## 8 Диаграмма усиления антенны

Ниже описывается диаграмма направленности антенны, которая используется в бюджетах приведенных здесь линий. Описываемая фазированная решетка, которая соответствует Резолюции 221 (Пересм. ВКР-07), будет использоваться как в (наземной) станции сопряжения HAPS, так и на (бортовой) платформе HAPS. Для целей исследований совместного использования частот пиковое усиление антенн платформы и наземной станции составляет 30 дБи и 47 дБи, соответственно. Уравнение маски диаграммы направленности антенны, используемое для станции сопряжения HAPS и платформы HAPS, приводится ниже и проиллюстрировано на рисунках 5 и 6, соответственно, с использованием  $L_N$  в –25 дБ. Эта маска диаграммы направленности используется как для линий вверх, так и для линий вниз и основана на антенне типа фазированной решетки, которая будет применяться для линий станций сопряжения HAPS.

$$\begin{aligned}
 G(\psi) &= G_m - 3(\psi/\psi_b)^2 && \text{дБи} && \text{для } 0^\circ \leq \psi \leq \psi_1 \\
 G(\psi) &= G_m + L_N && \text{дБи} && \text{для } \psi_1 < \psi \leq \psi_2 \\
 G(\psi) &= X - 60 \log(\psi) && \text{дБи} && \text{для } \psi_2 < \psi \leq \psi_3 \\
 G(\psi) &= L_F && \text{дБи} && \text{для } \psi_3 < \psi \leq 90^\circ,
 \end{aligned}$$

<sup>7</sup> Скорость передачи данных и ширина полосы канала являются взаимозаменяемыми показателями при применении эффективности использования спектра при используемых модуляции и кодировании, выраженную в битах на секунду на герц.

<sup>8</sup> Минимальное требование к скорости 2,67 Гбит/с основано на случае 64-QAM 2/3 и общей пропускной способности 3 млн. абонентов на HAPS с 300 тыс. (10%) онлайн-абонентов в часы наибольшей нагрузки. Это относится к базовому случаю доступа, главным образом пользователей услуг голосовой связи с небольшим объемом трафика интернета и данных. Это соответствует пропускной способности пользователя (а не станции сопряжения) в размере 300 тыс. эрлангов с использованием модели трафика Эрланг В с блокированием 1%.

<sup>9</sup> Модуляция 64-QAM со скоростью кодирования 2/3 обеспечивает эффективность использования спектра в 4 бит/с/Гц. Каждая линия станции сопряжения шириной 160 МГц с такой модуляцией будет обеспечивать пропускную способность по скорости передачи 533 Мбит/с. Пять линий станций сопряжения с одной и той же частотой обеспечивают общую пропускную способность станции сопряжения в 2,67 Гбит/с (533 Мбит/с умножить на 5 GS).

где:

- $G(\psi)$ : усиление при угле  $\psi$  от направления главного лепестка (дБи);  
 $G_m$ : максимальное усиление в главном лепестке (дБи);  
 $\psi_b$ : половина ширины луча по уровню 3 дБ в рассматриваемой плоскости (3 дБ ниже  $G_m$ ) (градусы);  
 $L_N$ : уровень ближнего бокового лепестка (дБ) относительно пикового усиления, определяемого конструкцией системы, с минимальным значением  $-25$  дБ;  
 $L_F$ : уровень дальнего бокового лепестка,  $G_m - 73$  дБи;  
 $\psi_1 = \psi_b \sqrt{-L_N/3}$  градусы;  
 $\psi_2 = 3,745 \psi_b$  градусы;  
 $X = G_m + L_N + 60 \log(\psi_2)$  дБи;  
 $\psi_3 = 10^{(X-L_F)/60}$  градусы.

Ширина луча по уровню 3 дБ ( $2\psi_b$ ) определяется по формуле:

$$(\psi_b)^2 = 7442 / (10^{0,1 G_m}) \quad \text{градусы}^2.$$

Коэффициент спада диаграммы направленности антенны в 60 дБ на декаду используется для этих высокоэффективных многолучевых антенн с фазированной решеткой в соответствии с маской направленности антенны, как это указано в Резолюции 221 (Пересм. ВКР-07).

РИСУНОК 5

Эталонная диаграмма направленности антенны станции сопряжения HAPS для антенны с усилением 47 дБи

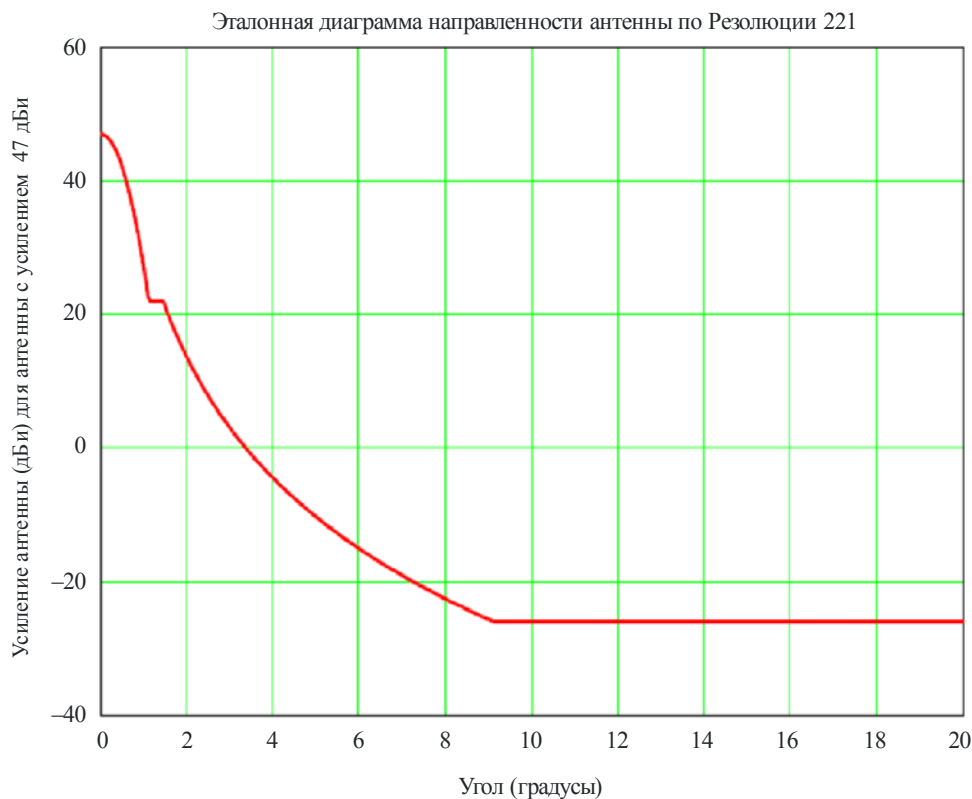
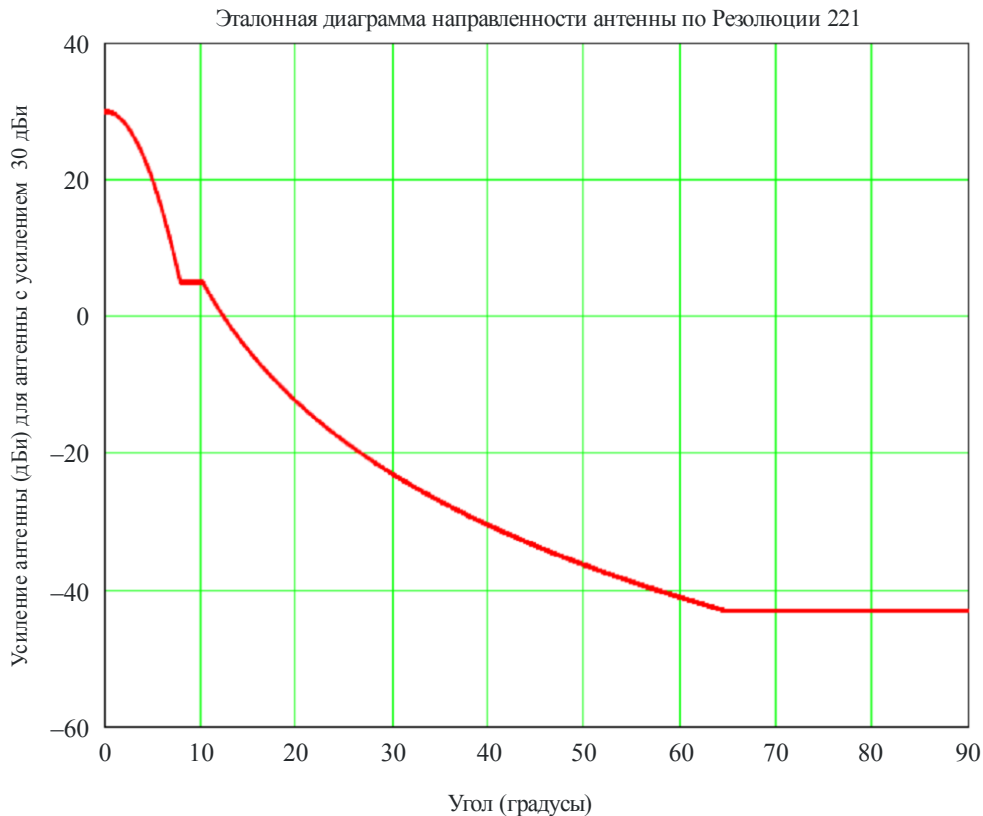


РИСУНОК 6

Эталонная диаграмма направленности антенны станции платформы HAPS для антенны с усилением 30 дБи



F.1891-06

## 9 Адаптивная модуляция для линий станций сопряжения

В каждой отдельной линии станции сопряжения используется адаптивная модуляция, которая обеспечивает устойчивость пропускной способности путем автоматического уменьшения уровня модуляции в случае более высоких уровней периодических помех и шума. Каждая линия станции сопряжения может корректировать свой уровень модуляции независимо от любой другой линии станции сопряжения и в зависимости от уровня  $C/(N + I_{TOT})$ , получаемого каждой из них. В таблице 4 показан конкретный уровень  $C/(N + I_{TOT})$ , необходимый для поддержания определенного уровня модуляции станции сопряжения и пропускной способности одиночной линии для заданного имеющегося спектра линии станции сопряжения. В каждой из пяти линий станций сопряжения повторно используется один и тот же спектр шириной 160 МГц.

Краткосрочное значение  $C/I_{EX}$  не должно быть ниже 12 дБ для более 0,001% времени, а долгосрочное значение  $C/I_{EX}$  не должно быть ниже 27 дБ для более 20% времени.  $C/I_{EX} = 12$  дБ соответствует 16-QAM с кодированием 1/2, которое уменьшает пропускную способность *единичной* станции сопряжения HAPS в два раза (или на 50%), как это показано на рисунке 7.

Адаптивная модуляция является стандартной технологией, которая используется во многих системах связи, с тем чтобы оптимизировать и обеспечить наличие связи и рабочие характеристики каналов, испытывающих периодически некоторые уровни краткосрочной и долгосрочной перегрузки. Она позволяет линиям поддерживать сниженный уровень связи при наличии существенного шума и/или помех, тогда как без адаптивной модуляции линия не работала бы ниже конкретного требуемого минимума  $C/(N + I_{TOT})$ , который необходим для эксплуатации этой линии на установленном для нее уровне модуляции.

ТАБЛИЦА 4

## Пропускная способность станции сопряжения в сравнении с модуляцией и кодированием

Модуляция линии станции сопряжения	Кодирование линии станции сопряжения	Требуемое значение $C/(N + I_{TOT})^{(1)}$ (дБ)	Пропускная способность одиночной станции сопряжения <sup>(2)</sup> (Мбит/с)	Пропускная способность станций сопряжения ~ %	Эффективность использования спектра (бит/с/Гц)
64-QAM	2/3	26,3	533	100	4
16-QAM	3/4	20,2	396	75	3
16-QAM	1/2	11,9	267	50	2
QPSK	1/2	4,5	133	25	1

(1)  $I_{TOT} = I_{nGW} + I_{EX}$ .

$I_{nGW}$  = собственные помехи от других станций сопряжения  $n - 1$ .

$n$  принимает значения от 1 до 5 в зависимости от количества станций сопряжения HAPS.

$I_{EX}$  = внешние помехи от земной станции и бортовой платформы, не относящихся к HAPS.

$I_{EX} = I_{ES} + I_{AS}$  = помехи от земной станции + помехи от бортовой станции.

(2) Пропускная способность каждой из пяти линий станций сопряжения.

~ По сравнению со случаем 64-QAM 2/3.

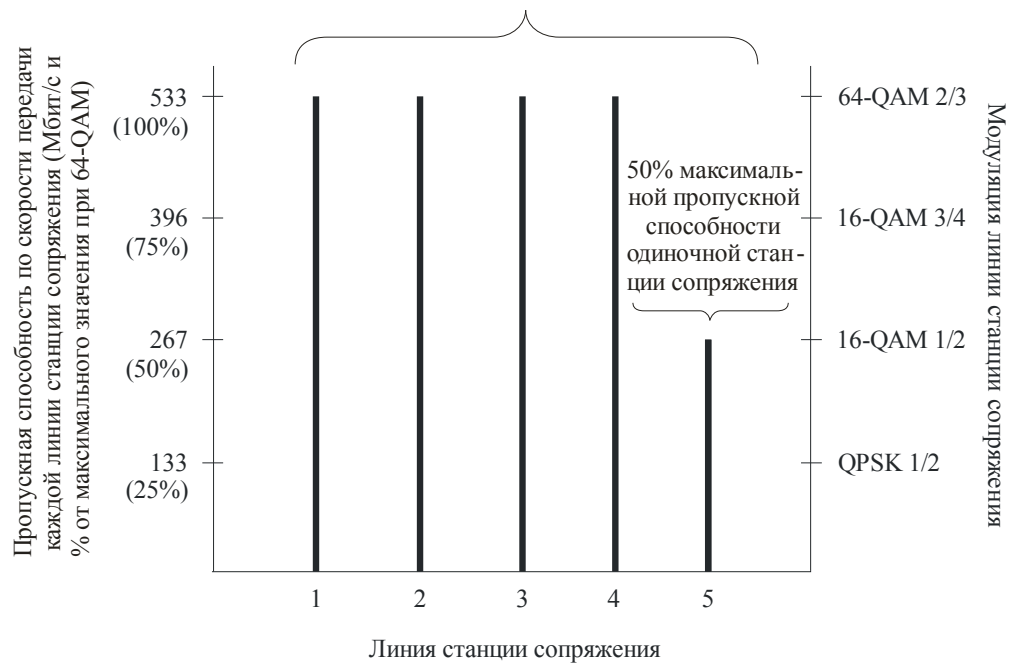
В базовом случае пяти симметрично расположенных линий станций сопряжения и как это показано в таблице 4, в одиночной линии станции сопряжения уровень  $C/(N + I_{TOT})$  может фактически снизиться, например, на 14 дБ ниже требуемого значения для 64-QAM и при этом все же сохранится 50% ее пропускной способности при работе с 16-QAM 1/2. В этом случае общая пропускная способность станций сопряжения для пяти станций сопряжения будет фактически составлять 90% от полной пропускной способности, даже в случае одной станции сопряжения, временно работающей при 50% своей пропускной способности, и четырех станций, работающих на полную мощность. Такая адаптация модуляции и пропускной способности показана на рисунке 7. Если же две из пяти линий станций сопряжения временно работают при 25% своей пропускной способности (при QPSK 1/2), то общая пропускная способность пяти линий станций сопряжения составит 70% от общей пропускной способности. Кроме того, если одна из пяти линий полностью (100%) потеряна по какой бы то ни было причине, а другие четыре линии по-прежнему работают на полную мощность, что общая пропускная способность линии составит 80%. Если такое снижение пропускной способности происходит не в часы наибольшей нагрузки, то не будет необходимости в наличии полной мощности на этот период времени. Если же оно происходит периодически, но в часы наибольшей нагрузки<sup>10</sup>, то конкретные затронутые линии станций сопряжения должны будут работать с более низким качеством обслуживания, соответствующим более низкой пропускной способности, до тех пор пока не будет полностью восстановлена пропускная способность линии станции сопряжения.

<sup>10</sup> По оценкам, на часы наибольшей нагрузки приходится в среднем около 15% всего времени в течение 24-часового периода. Самый низкий уровень трафика в любое время суток оценивается в размере 20% от общей пропускной способности.

РИСУНОК 7

**Пример адаптации модуляции и пропускной способности линий станций сопряжения**

90% общей максимальной пропускной способности пяти линий станций сопряжения



F.1891-07