

ОТЧЕТ МСЭ-R F.2086*

Технические и эксплуатационные характеристики и применения широкополосного беспроводного доступа в фиксированной службе

(2006)

СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

1	Введение.....	2
2	Сфера применения	2
3	Справочные документы.....	2
4	Список акронимов и сокращений.....	3
5	Применение и службы	5
6	Характеристики	5
6.1	Диапазоны рабочих частот	6
6.2	Эффективность использования спектра (ЭИС).....	6
6.3	Структуры топологии	7
6.3.1	Топология развертывания связи пункта с пунктом (P-P).....	8
6.3.2	Топология развертывания связи пункта со многими пунктами (P-MP).....	8
6.3.3	Топология развертывания связи многих пунктов со многими пунктами (MP-MP).....	8
6.3.4	Топология развертывания связи на основе сочетания P-P, P-MP и MP-MP	10
6.4	Антенны	10
6.5	Дуплексирование.....	10
6.6	Типы развертывания	11
6.6.1	Работа в пределах прямой видимости (LoS).....	11
6.6.2	Работа вне пределов прямой видимости (NLoS).....	11
6.6.3	Планарное развертывание	11
6.6.4	Точечное развертывание.....	14
6.6.5	Развертывание соединительных линий	14
6.6.6	Комбинированное развертывание.....	14
6.7	Транспортные характеристики.....	14
6.7.1	Независимость службы	14
6.7.2	Поддержка службы.....	14
6.7.3	Гибкая асимметрия.....	15
6.7.4	Адаптация скорости по требованию абонента	16
6.7.5	Пропускная способность	16

	<i>Стр.</i>	
6.7.6	Расширяемость.....	16
6.7.7	Вопросы безопасности, относящиеся к радио	16
6.8	Функция управления системой	16
6.9	Ослабление влияния помех	16
6.9.1	Типы помех	16
6.9.2	Методы ослабления влияния помех	17
6.9.3	Применение методов ослабления влияния помех	18
6.10	Поддержка систем, использующих новые технологии.....	18
Приложение 1 – Пример одного конкретного применения ШБД.....		20

1 Введение

В данном Отчете приводятся характеристики и применения систем широкополосного беспроводного доступа (ШБД) в фиксированной службе, предназначенные для использования администрациями и операторами, намеревающимися развертывать системы ШБД. Системы ШБД, включая применения на основе локальных радиосетей (RLAN) в фиксированной службе, широко используются для перевозимого, кочевого и фиксированного оборудования и для разнообразных служб. Существуют стандарты, в которых рассматриваются вопросы возможности взаимодействия и работы этих систем. Стандарты радиointерфейса для фиксированных систем ШБД представлены в Рекомендациях МСЭ-R F.1763 и МСЭ-R F.1499, в которых указываются подробные интерфейсы для обеспечения возможности взаимодействия радиооборудования, работающего на частотах ниже 66 ГГц.

2 Сфера применения

В данном Отчете кратко излагаются общие технические и эксплуатационные характеристики, необходимые для предоставления конечным пользователям систем ШБД в фиксированной службе, включая локальные радиосети. Отчет включает технические соображения в отношении диапазона частот, а также характеристики распространения радиоволн, касающиеся развертывания систем ШБД. Также приводится информация по техническим и эксплуатационным требованиям, касающимся недопущения помех.

3 Справочные документы

- [1] Recommendation ITU-R F.1490 – Generic requirements for fixed wireless access systems.
- [2] ETSI TR 101 856 V1.1.1 (2001-03), Broadband Radio Access Networks (BRAN) – Functional Requirements for Fixed Wireless Access systems below 11 GHz: HIPERMAN.
- [3] IEEE 802.16.3-00/02r4, 22.09.2000, – Functional Requirements for the 802.16.3 Interoperability Standard.
- [4] Рекомендация МСЭ-R F.1704 – Характеристики фиксированных беспроводных систем связи "множество точек–множество точек" со смешанной топологией сети, работающих в полосах частот выше примерно 17 ГГц.
- [5] Recommendation ITU-R F.1401 – Considerations for the identification of possible frequency bands for fixed wireless access and related sharing studies.
- [6] Recommendation ITU-R F.755 – Point-to-multipoint systems in the fixed service.

- [7] Recommendation ITU-R F.1400 – Performance and availability requirements and objectives for fixed wireless access to public switched telephone network.
- [8] Recommendation ITU-R M.1450 – Characteristics of broadband radio local area networks.
- [9] Рекомендация МСЭ-R F.1763 – Стандарты радиointерфейса для систем широкополосного беспроводного доступа в фиксированной службе, действующих в полосах частот ниже 66 ГГц.
- [10] Recommendation ITU-R F.1399 – Vocabulary of terms for wireless access.
- [11] Recommendation ITU-R F.1499 – Radio transmission systems for fixed broadband wireless access based on cable modem standards.
- [12] Рекомендация МСЭ-R SM.1046 – Определение использования радиочастотного спектра и эффективности радиосистемы.
- [13] ETSI TS 101 999 V1.1.1 (2002-04) – Broadband Radio Access Networks (BRAN); HiperACCESS; PHY (Physical Layer) protocol specification.
- [14] ETSI TS 102 000 V1.4.1 (2004-07) – Broadband Radio Access Networks (BRAN); HiperACCESS; DLC (Data Link control) protocol specification.
- [15] Draft ETSI EN 302 326 (V0.0.8 2004-10) – Fixed Radio Systems; Multipoint equipment and antennas.
- [16] ARIB STANDARD STD-T59 – Fixed Wireless Access System using quasi-millimeter-wave and millimeter-wave band frequencies, Point-to-multipoint System (http://www.arib.or.jp/english/html/overview/st_e.html).
- [17] Report ITU-R F.2060 – Fixed service use in the IMT-2000 transport network.
- [18] Recommendation ITU-R F.746 – Radio-frequency arrangements for fixed service systems.
- [19] Report ITU-R F.2058 – Design techniques applicable to broadband fixed wireless access systems conveying Internet Protocol packets or asynchronous transfer mode cells;
- [20] Report ITU-R F.2047 – Technology developments and application trends in the fixed service.
- [21] Справочник МСЭ-R по фиксированному беспроводному доступу (сухопутная подвижная служба (включая беспроводной доступ), Том 1).

4 Список акронимов и сокращений

AP	Пункт доступа	Access point
APS	Формирование диаграммы направленности антенны	Antenna pattern shaping
ARIB	Ассоциации промышленных и коммерческих предприятий в области радио	Association of Radio Industries and Businesses
ATM	Асинхронный режим передачи	Asynchronous transfer mode
BEM	Маска границы блока	Block edge mask
BER	Коэффициент ошибок по битам	Bit error ratio
BRAN	Сеть широкополосного радиодоступа (ETSI)	Broadband radio access network (ETSI)
БС	Базовая станция	Base station (BS)
ШБД	Широкополосный беспроводный доступ	Broadband wireless access
CDMA	Многостанционный доступ с кодовым разделением	Code division multiple access
<i>C/I</i>	Отношение сигнала несущей частоты к помехе	Carrier-to-interference
Diffserv	Дифференцированные службы	Differentiated services

DL	Линия вниз	Downlink
DLC	Управление каналом передачи данных	Data link control
ETSI	Европейский институт стандартизации электросвязи	European Telecommunications Standards Institute
FDD	Дуплекс с частотным разделением	Frequency division duplex
FSK	Частотная манипуляция	Frequency shift keying
FWA	Фиксированный беспроводный доступ	Fixed wireless access
GPS	Глобальная система определения местоположения	Global positioning system
H-FDD	Полудуплекс с частотным разделением	Half duplex FDD
HIPERMAN	Городская радиосеть высокого качества	High Performance radio metropolitan area network
IEEE	Институт инженеров по электротехнике и радиоэлектронике	Institute of Electrical and Electronics Engineering
МСП	Межсимвольные помехи	Inter-symbol-interference
IP	Протокол Интернет	Internet protocol
ISP	Поставщик услуг интернета	Internet service providers
LAN	Локальная сеть передачи данных	Local area network
LoS	Прямая видимость	Line-of-sight
MA	Многостанционный доступ	Multiple access
MAN	Городская сеть передачи данных	Metropolitan area network
MIMO	Многоканальный вход/многоканальный выход	Multiple input multiple output
MPEG4	Стандарт MPEG 4 (Группа экспертов по вопросам кинотехники)	Moving Picture Experts Group 4
MP-MP	Связь многих пунктов со многими пунктами	Multipoint-to-multipoint
MPLS	Многопротокольная коммутация с использованием меток	Multi-protocol label switching
MUD	Многопользовательское обнаружение	Multi-user detection
NLOS	Вне прямой видимости	Non-line-of-sight
OFDM	Ортогональное частотное разделение	Orthogonal frequency division multiplex
OFDMA	Множественный доступ с ортогональным частотным разделением	Orthogonal frequency-division multiple access
PoI	Точка стыка	Points of interface
P-P	Связь пункта с пунктом	Point-to-point
P-MP	Связь пункта со многими пунктами	Point-to-multipoint
QAM	Квадратурная амплитудная модуляция	Quadrature amplitude modulation
QoS	Качество обслуживания	Quality of service
RLAN	Локальная радиосеть передачи данных	Radio local area network
RSVP	Протокол резервирования ресурса	Resource reservation protocol
СЦИ	Синхронная цифровая иерархия	Synchronous digital hierarchy (SDH)

СУО	Соглашение об уровне обслуживания	Service level agreement (SLA)
МСП	Малые и средние предприятия	Small medium enterprise (SME)
SINR	Отношение сигнала и помехи к шуму	Signal and interference to noise ratio
SNMP	Простой протокол управления сетью	Simple network management protocol
SOHO	Малый или домашний офис	Small office home office
АТ	Абонентский терминал	Subscriber terminal (ST)
АБ	Абонентский блок	Subscriber unit (SU)
TCP/IP	Протокол управления передачей/Протокол Интернет	Transmission Control Protocol/Internet Protocol
TDD	Дуплекс с временным разделением	Time division duplex
UL	Линия вверх	Uplink
VoIP	Передача речи по протоколу Интернет	Voice over Internet protocol
WAN	Территориальная распределительная сеть	Wide area network
WAS	Системы беспроводного доступа	Wireless access systems

5 Применение и службы

Системы ШБД, действующие в фиксированной службе, должны поддерживать широкий диапазон применений, используемых в настоящее время, и иметь возможность расширения для поддержки будущих служб. Основными пользовательскими применениями, которые можно предусмотреть в настоящее время, являются следующие:

- доступ к интернету (например, по протоколу Интернет 4-й и 6-й версии)
- соединение LAN и удаленный доступ к LAN

Протоколы могут поддерживать службу соединенных LAN и возможности удаленного доступа к LAN.

- видеотелефония и видеоконференцсвязь
- компьютерные игры
- передача видео- и аудиосигналов в режиме реального времени
- телемедицина; телеобразование
- услуги телефонии/голосовые услуги (например, VoIP)
- голосовые модем и факс

Данная система может обеспечить службы однонаправленной и групповой передачи, а также вещательные службы.

Фиксированные системы ШБД могут также использоваться для обеспечения соединительных линий для локальных сетей (LAN), городских сетей (MAN) и сотовых подвижных сетей, а также колец синхронной цифровой иерархии (СЦИ).

6 Характеристики

В пунктах ниже представлены некоторые характеристики развертывания систем ШБД в фиксированной службе. Подлежащие использованию полосы частот могут отличаться в каждой стране; для обеспечения повторного использования полос частот, а также необходимого масштаба производства оборудования должны быть учтены соответствующие планы использования полос частот и доступность оборудования.

При развертывании систем ШБД должны быть учтены и другие характеристики, особенно в целях обеспечения эффективного использования спектра, гарантированного качества обслуживания (QoS), а также применения новых технологий.

6.1 Диапазоны рабочих частот

Фиксированные системы ШБД должны работать в широком диапазоне частот, чтобы соответствовать ряду полос частот, имеющихся в каждой стране. В качестве руководства при рассмотрении вопроса об идентификации возможных полос частот для ШБД и связанного с ним исследования совместного использования частот может использоваться Рекомендация МСЭ-R F.1401.

В Таблице 1 представлены дополнительные подробности относительно полос частот, используемых в некоторых администрациях для систем беспроводного доступа (WAS), включая ШБД и RLAN. В системах ШБД может использоваться ряд методов модуляции и многостанционный доступа.

ТАБЛИЦА 1

Примеры полос частот, используемых в некоторых администрациях для WAS, включая ШБД и RLAN*

Частота	Диапазоны/полосы частот
УВЧ (300–3 000 МГц)	800/900 МГц 902–928 МГц 1 800/1 900 МГц 2 400–2 483,5 МГц
СВЧ (3–30 ГГц)	3,3–3,9 ГГц 4,9–5,0 ГГц 5,150–5,250 ГГц 5,250–5,350 ГГц 5,470–5,725 ГГц 5,725–5,850 ГГц 18 ГГц 24/25/28/29 ГГц
КВЧ (30–300 ГГц)	32 ГГц 38 ГГц 40 ГГц

* Данные полосы частот не всегда распределены фиксированной службе согласно Статье 5 Регламента радиосвязи (PP) и могут включать, например, фиксированные применения в подвижной службе.

В каждой системе ШБД обычно используются конкретное(ые) частотное(ые) разнесение(ия) и ширина(ы) полосы(полос) радиоканала, зависящие от используемых стандартов или индивидуальных разработок производителя. Однако в целях обеспечения эффективного использования спектра в пределах имеющихся разрешенных полос или частотных блоков, в различных системах ШБД могут использоваться различные частотные разнесения и развертывания с различными секторизациями базовых станций.

В качестве руководства по размещению радиочастот для систем фиксированного беспроводного доступа (FWA), включая системы ШБД, также могут использоваться другие Рекомендации МСЭ-R (например, Рекомендация МСЭ-R F.746).

6.2 Эффективность использования спектра (ЭИС)

Информацию о ЭИС, включая общий критерий оценки и сравнения эффективности использования спектра можно найти в Рекомендации МСЭ-R SM.1046. Исследования, проведенные 1-й Исследовательской комиссией по радиосвязи (ИК1), упомянутые в Рекомендации МСЭ-R SM.1046, показывают, что ЭИС следует измерять в терминах отношения количества информации, переданной на расстояние, к коэффициенту использования спектра. Факторы, которые определяют эффективное использование спектра, включают развязку, обеспечиваемую за счет направленности антенны, географическое разнесение, совместное использование частот, а также использование ортогональных частот, распределение времени или временное разделение.

Один из факторов, определяющих ширину занимаемой полосы, является характеристика¹ формирования/фильтрации спектра. Оборудование должно иметь возможность эффективно использовать спектр при фактически полном отсутствии ухудшения пропускной способности в случае совмещенных пунктов доступа и использования соседних каналов.

Для того чтобы этого достичь, когда различным операторам присвоены соседние каналы или соседние блоки, требуется определенная защитная полоса от граничной частоты. Такой подход имеет силу регулирования ширины полосы разноса между несущими, которая может использоваться в каждой разрешенной полосе частот, и требует, чтобы они были одинаковыми для всех разрешенных полос частот.

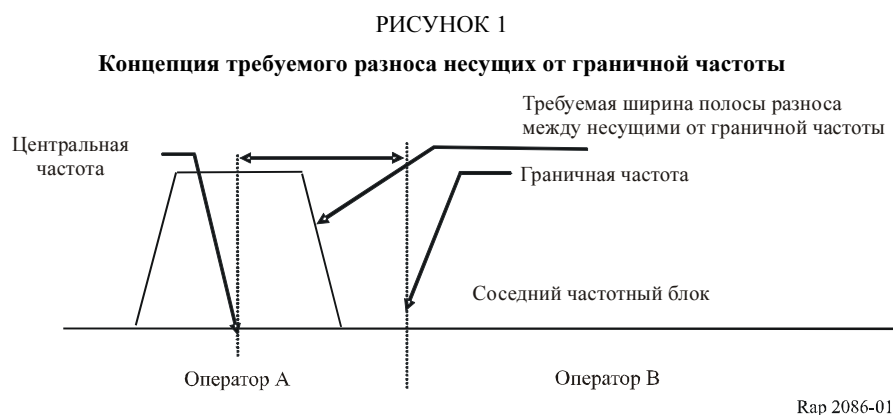
Пример требуемого разноса между несущими от граничной частоты для систем связи пункта со многими пунктами указан ниже. На рисунке 1 центральная частота передаваемых несущих должна иметь требуемую ширину полосы частот разноса от граничной частоты соседнего частотного блока, который присвоен другому оператору.

Для данного примера ширина полосы определена ниже:

$$BW = 1,25 \times BW_0$$

где BW_0 – ближайшая частота от центральной частоты, на которой относительный уровень измеренного спектра становится на 23 дБ ниже максимального уровня спектра.

В принципе, операторы в пределах присвоенного им блока, должны использовать радиоканалы с более высоким приоритетом ближе к центру частотного блока. В системах с несколькими несущими, указанные выше требования должны применяться для самых крайних несущих от центра частотного блока.



Другой подход, известный как поход на основе маски границы блока (ВЕМ), также используется для присвоения соседних блоков спектра частот операторам в одном и том же географическом районе. Смежные блоки присваиваются без защитных полос, и оборудование должно выполнять положения ВЕМ. Данный подход позволяет операторам развертывать системы с любой шириной полосы разноса между несущими, включая различные ширины полос разноса между несущими в соседних блоках, до тех пор пока их излучения на границе блока остаются ниже ВЕМ.

6.3 Структуры топологии

Существует четыре вида основных топологий:

- традиционная топология, предусматривающая связь пункта с пунктом (P-P), при которой одна станция связывается непосредственно с другой станцией;

¹ Ширина такой полосы частот, за нижним и верхним пределами которой, каждая из излучаемых средних мощностей равняется определенному проценту $\beta/2$ от всей средней мощности данного излучения (определено в п. 1.153 PP).

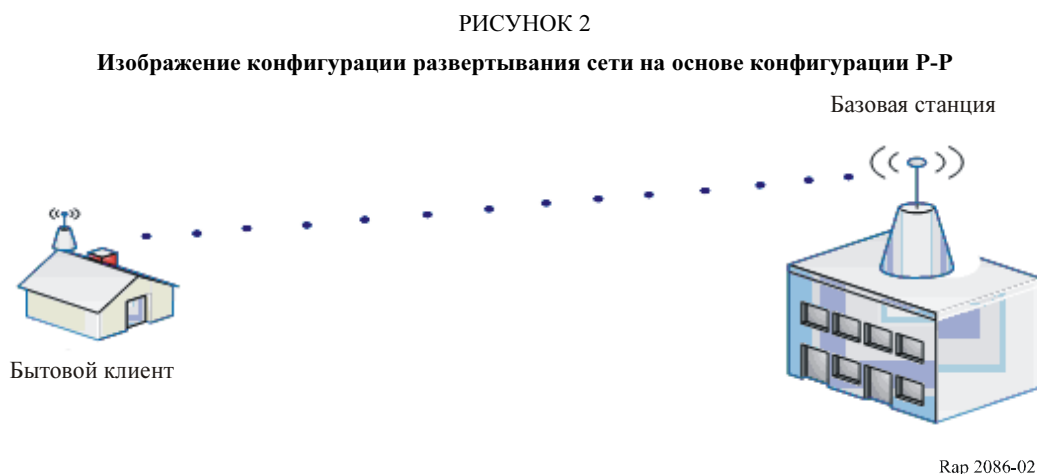
- традиционная топология, предусматривающая связь пункта со многими пунктами (P-MP), при которой каждый абонентский блок (АБ) связывается непосредственно с базовой станцией (БС);
- связь многих пунктов со многими пунктами (MP-MP) с топологией ячеистой сети, при которой АБ связываются с ближайшими соседними АБ, и информация передается обратно по ячейкам, аналогично трафику Интернет;
- топология на основе сочетания P-P, P-MP и MP-MP.

Основное различие между топологиями P-MP и MP-MP состоит в том, что в режиме P-MP трафик возникает только между БС и АБ, в то время как при топологии MP-MP трафик может возникнуть непосредственно между АБ, а также может маршрутизироваться далее через другие АБ. Следует отметить, что применение P-P может использоваться в качестве составной линии в топологиях P-MP и MP-MP, и что в некоторых соединительных линиях, включая подвижную инфраструктуру, также может использоваться применение P-P.

Приведенные выше четыре структуры топологий – P-P, P-MP и MP-MP, а также их сочетание, должны быть подвергнуты оценке при рассмотрении вопроса об их реализации.

6.3.1 Топология развертывания связи пункта с пунктом (P-P)

В системах P-P трафик передается напрямую от одной станции к другой. Использование систем P-P также включает соединительные линии для LAN, MAN и сотовых подвижных сетей.



6.3.2 Топология развертывания связи пункта со многими пунктами (P-MP)

В системах P-MP весь трафик данных (данные, голос или мультимедиа) должен проходить через БС, которая выступает в качестве контролера радиоресурса.

На рисунке 3 показан пример конфигурации развертывания. БС может обслуживать отдельные здания, несколько абонентов в нескольких зданиях (используя несколько радиолиний), или несколько абонентов в одном здании с использованием одной радиолинии в сочетании с системой распределения в зданиях. На рисунке показано использование необязательного ретранслятора и разнесение маршрута для обеспечения расширенного покрытия и покрытия в труднодоступных районах. Это не означает, что указанные характеристики должны использоваться во всех системах.

Базовые станции ШБД развертываются так, чтобы образовывать смежные соты или точечное покрытие.

6.3.3 Топология развертывания связи многих пунктов со многими пунктами (MP-MP)

Система может поддерживать связь многих пунктов со многими пунктами (MP-MP) с топологией ячеистой сети.

На рисунке 4 изображен пример системы MP-MP с топологией ячеистой сети. Беспроводные ячеистые сети состоят из беспроводных узлов, которые представляют собой пользовательские

станции, радиорелейные узлы без инициирования/завершения трафика или точки стыка (PoI) с другими сетями, например, сетями ISP. Вся сеть, показанная на рисунке 4, может считаться системой МР-МР. Если по крайней мере один разнесенный маршрут доступен в этой сети, система конкретно упоминается как система "система МР-МР с топологией ячеистой сети" (см. Рекомендацию МСЭ-R F.1704).

РИСУНОК 3

Изображение конфигурации развертывания сети на основе конфигурации Р-МР

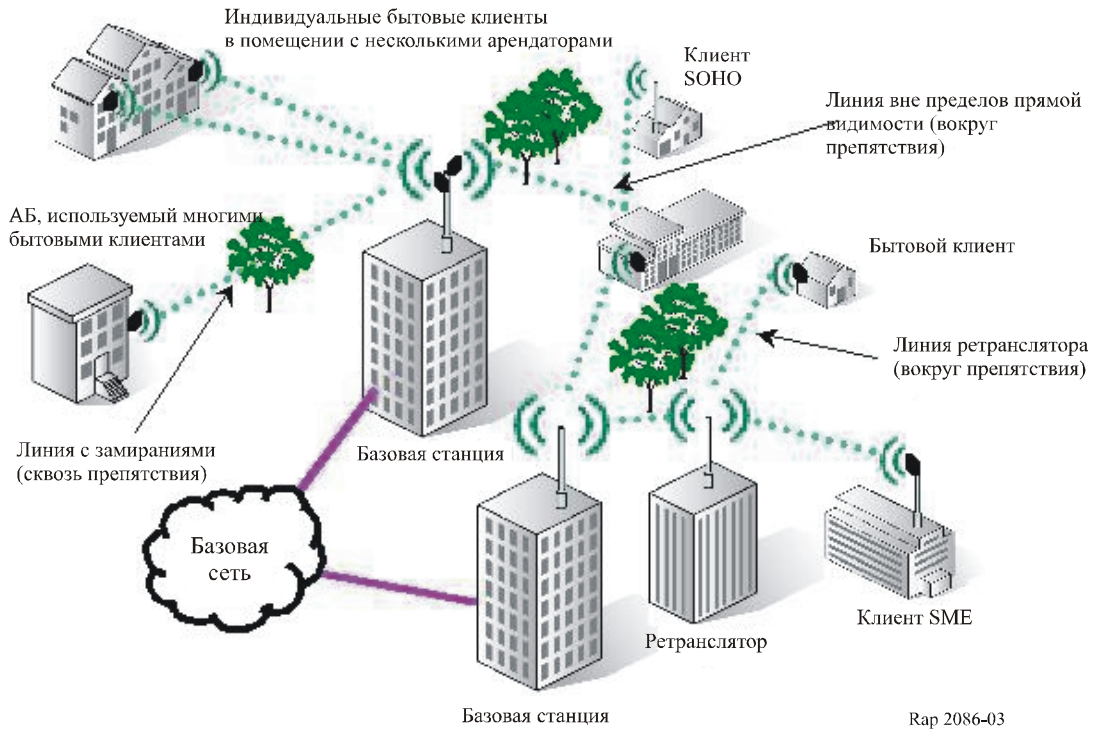
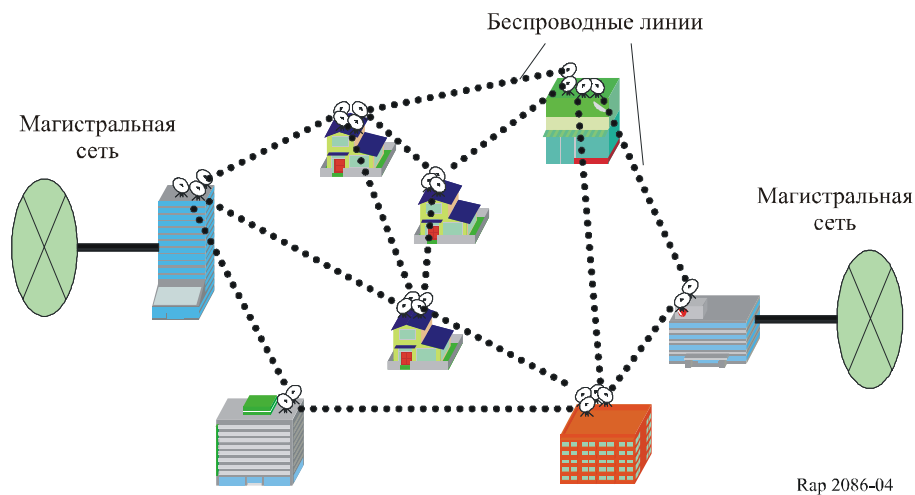


РИСУНОК 4

Изображение конфигурации развертывания сети на основе конфигурации МР-МР

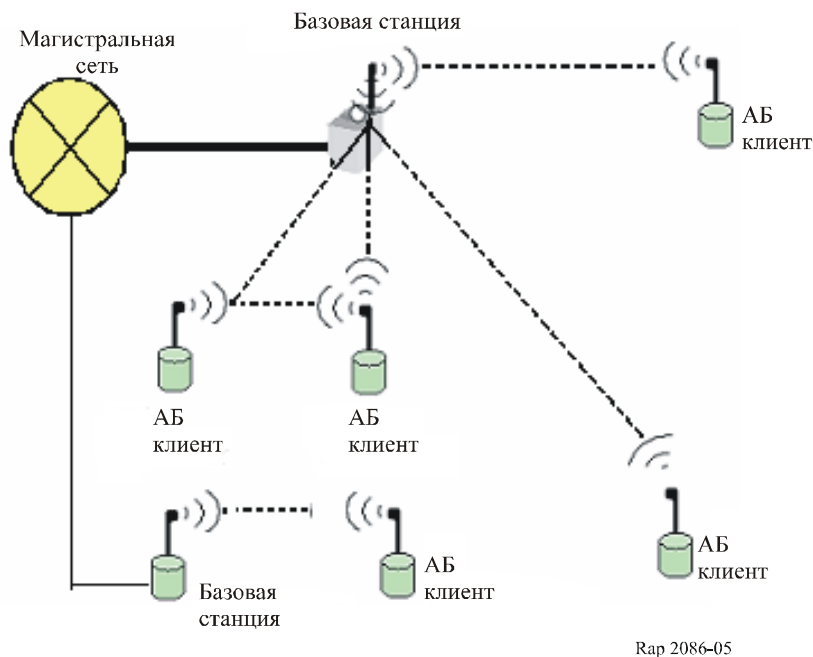


6.3.4 Топология развертывания связи на основе сочетания Р-Р, Р-МР и МР-МР

На рисунке 5 изображен пример смешанной топологии. В данном случае в беспроводной сети могут быть как линии Р-МР, так и линии МР-МР, а БС, обеспечивающая АБ, может быть соединена с другими сетями с помощью магистральной сети.

РИСУНОК 5

Иллюстрация развертывания сети на основе конфигурации с сочетанием Р-Р, Р-МР и МР-МР



6.4 Антенны

Характеристика антенны указывается разными способами. Несмотря на то, что подавление главного бокового лепестка является важным с точки зрения помех, одним из наиболее важных параметров в сотовой топологии является защитное действие антенны в заднем полупространстве. Защитное действие антенны в заднем полупространстве показывает отношение усиления антенны в направлении главного лепестка к усилению антенны в противоположном направлении (см. п. 6.9.2.2).

6.5 Дуплексирование

ШБД в фиксированной службе может быть реализован с использованием либо режима FDD, либо TDD, либо их сочетания.

В режиме FDD, базовая станция должна поддерживать полный дуплекс с частотным разделением. АБ может выбирать между работой в режиме полного дуплекса с частотным разделением или в режиме полудуплекса с частотным разделением (H-FDD). Для поддержки работы АБ в режиме H-FDD, БС должна обеспечить координацию работы АБ в этом режиме таким образом, чтобы он не осуществлял прием и передачу в одно и то же время.

В режиме TDD система может поддерживать динамически изменяемую продолжительность работы на линии вверх (UL) и на линии вниз (DL), в соответствии с существующим асимметричным трафиком, а также требуемую синхронизацию в районе, где используются системы TDD, чтобы обеспечить возможность работы нескольких систем.

Схема дуплексирования должна выбираться совместно с предпочтительным видом модуляции, а также методами многостанционного доступа (МА). Существуют несколько сочетаний методов МА/модуляции, которые были установлены в качестве стандартов для ШБД, которые можно найти в следующих документах МСЭ-R:

- Отчет МСЭ-R F.2058 – Разработка методов, применимых в широкополосных беспроводных системах доступа, переносящих пакеты протокола Интернет или ячейки асинхронного режима передачи;
- Рекомендация МСЭ-R M.1450 – Характеристики широкополосных локальных радиосетей, (для систем ШБД, основанных на применениях RLAN в ФС).

6.6 Типы развертывания

6.6.1 Работа в пределах прямой видимости (LoS)

Система ШБД должна иметь возможность работы в условиях прямой видимости (LoS) с различными видами поляризации, независимо от диапазона рабочих частот.

6.6.2 Работа вне пределов прямой видимости (NLoS)

Возможность работы вне пределов прямой видимости (NLoS) может смягчить или устранить требования к установке антенны и дать возможность использования устанавливаемых терминалов пользователей, которые могут существенно сократить расходы на развертывание.

Для систем ШБД, действующих в более низких полосах частот, например, ниже 6 ГГц, имеется возможность работы в условиях вне прямой видимости. Вследствие многолучевости, присущей намеченным полосам частот, такие системы ШБД могут выдерживать задержку в несколько мкс при ограниченном ухудшении характеристик.

Работа вне пределов прямой видимости требует устойчивости к многолучевости и повышенного усиления системы. Системы ШБД, поддерживающие такой режим работы, обычно предоставляют средства увеличения энергетического потенциала линии вверх, не отражающиеся на сложности абонентского терминала.

6.6.3 Планарное развертывание

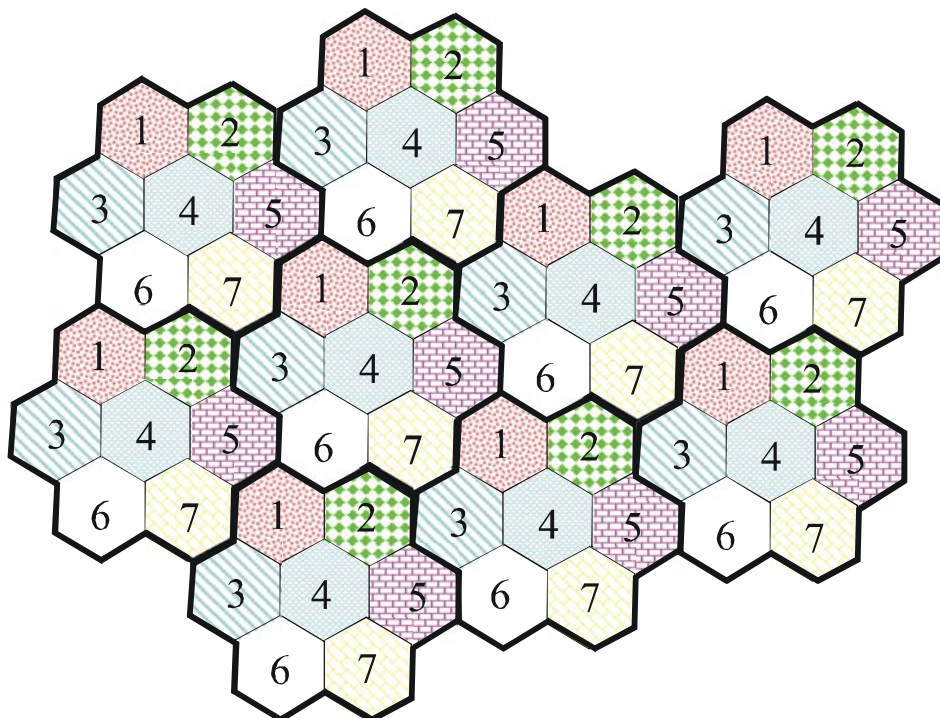
Варианты планарного развертывания выбираются в том случае, когда поставщики услуг решают, что они хотят предоставлять повсеместные службы ШБД на большой территории. Преимущество планарного развертывания заключается в том, что весь район будет покрыт равномерно. Обратной стороной является увеличение требуемого объема работ по предварительному планированию и проектированию.

Руководство по методам проектирования для планарного развертывания имеется в справочниках МСЭ, например в справочнике по фиксированному беспроводному доступу и других публикациях, изданных не МСЭ. Ниже приведены конкретные примеры.

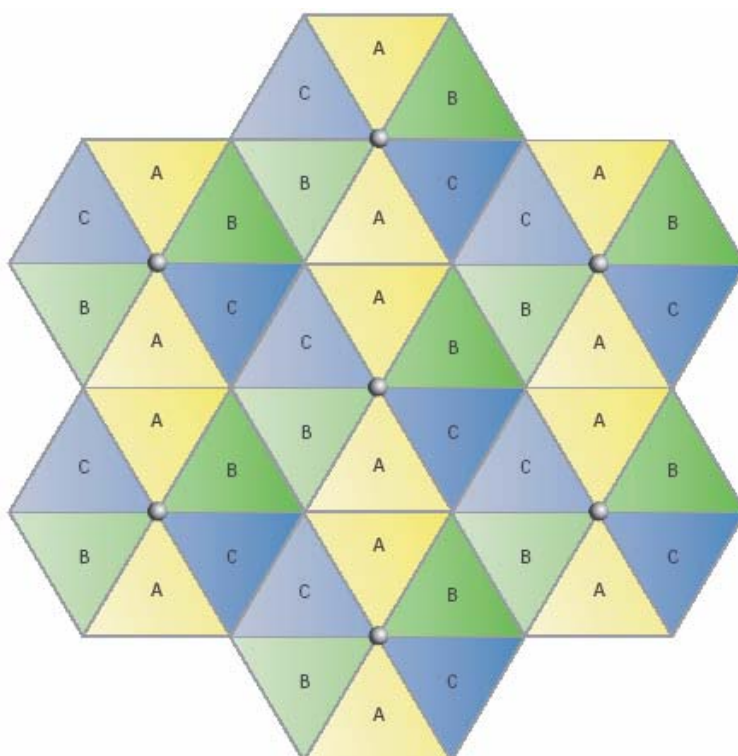
На рисунке 6 показываются примеры частотного планирования при планарном развертывании. В целях недопущения помех частоты, используемые в каждой соте, должны выбираться в соответствии со строгими руководящими принципами развертывания. Схемы повторного использования частот выбираются с учетом требуемого отношения *C/I* и имеющихся частотных каналов. На рисунке 6а), на котором изображено типовое планарное развертывание с шестиугольными сотами, имеется семь каналов, используемых во всей сети. На рисунке 6б) изображается типовое сотовое развертывание с шестью секторами на пункт доступа (AP), при котором на всю сеть используется только три канала. При таком сценарии развертывания синхронизируется кластер пунктов доступа, чтобы они осуществляли передачу и прием в надлежащих циклах, так чтобы частоты могли повторно использоваться описанным способом.

РИСУНОК 6

Примеры частотного планирования при планарном развертывании



а) Планарное развертывание с шестиугольными сотами



б) Планарное развертывание с треугольными сотами и шестью секторами

Для систем с менее надежными схемами модуляции, требования к отношению C/I часто определяют выбор схемы повторного использования частот. Причина состоит в том, что прежде чем данный частотный канал сможет использоваться вновь на другой станции соты, он должен находиться достаточно далеко, чтобы удовлетворить требованию к отношению C/I .

Радиус действия данной системы со свободным трактом в пределах прямой видимости может быть рассчитан следующим образом. Вначале определим имеющийся "энергетический потенциал линии", далее сравним его с приведенными ниже таблицами. В таблицах 2 и 3 представлены примеры энергетических потенциалов линии для работы в диапазоне 2,4 ГГц и 5,8 ГГц соответственно. Отметим, что обратный тракт обычно представляет собой ограничивающий фактор, который, как предполагается, должен использоваться для определения радиуса действия.

- Энергетический потенциал линии (дБ) = мощность Tx (дБм)
- + Усиление передающей антенны (дБи)
 - + Усиление приемной антенны (дБи)
 - Чувствительность приема (-ххдБм)
 - Потери в антенном кабеле
 - Запас на замирание по РЧ
 - Запас по помехам

ТАБЛИЦА 2

Пример энергетического потенциала линии в диапазоне 2,4 ГГц

Энергетический потенциал линии (дБ)	100	103	106	109	112	115	118	121	124	127	130
Расстояние (км)	1	1,5	2	3	4	6	8	11	16	23	32

ТАБЛИЦА 3

Пример энергетического потенциала линии в диапазоне 5,8 ГГц

Энергетический потенциал линии (дБ)	101	104	107	110	113	116	119	122	125	128	131	134	137	139
Расстояние (км)	0,4	0,6	0,8	1	1,7	2,5	3,5	5	7	10	14	20	27	32

Для системы, использующей виды модуляции более высокого порядка, суммарное воздействие при планарном развертывании обычно таково, что для получения требуемого отношения C/I требуется больше каналов.

6.6.3.1 Синхронизация

При развертывании системы TDD с планарной топологией желательно иметь возможность использовать те же самые частоты для каждой станции соты, даже если эти станции соты могут находиться за несколько миль. Фактически, помеха по совмещенному каналу может возникать между одними и теми же секторами каналов соседних базовых станций. В таком случае требуется межсотовая синхронизация, обеспечивающая соответствующее хронирование и синхронизацию всех секторов во всех станциях соты при связи на линиях вниз и вверх.

Обеспечение надежной синхронизации на протяжении, возможно, сотен квадратных миль может представлять собой серьезную проблему. В системе, предназначенной для больших масштабов, плотных сетевых размещениях, синхронизация TDD представляет собой чрезвычайно важное требование. Данный вопрос решается путем использования сигналов GPS. Эти точные спутниковые сигналы используются для хронирования и, в конечном счете, для синхронизации при передаче/приеме, тем самым осуществляя привязку всех секторов сети к одним и тем же "часам". Следует отметить, что синхронизация применяется только в системах с цифровой модуляцией.

6.6.4 Точечное развертывание

Многие виды устанавливаемых развертываний ШБД начинаются с так называемых моделей "точечного" развертывания. Такая топология предполагает наличие одной станции соты или, возможно, нескольких, которые не являются географически смежными, но предназначены для обслуживания конкретных районов, нуждающихся в связи. Такой подход отличается от планарного развертывания, в котором цель заключается в обеспечении покрытия ШБД по всему региону, при этом станции соты развертываются таким образом, что в покрытии отсутствуют участки без прямой видимости.

Когда фиксированная система ШБД развертывается по точечному методу, исходя из предположения, что каждая "точка" достаточно удалена от других "точек", частотная координация и планирование обычно не являются вопросами внутрисистемных помех, и каждая станция соты устанавливается при развертывании, руководствуясь принципом обеспечения лучшего покрытия для данной отдельной зоны.

6.6.5 Развертывание соединительных линий

Во многих случаях сети связи пункта со многими пунктами расположены в районах, в которых проводная инфраструктура не является хорошо развитой. Место расположения станции соты выбирается, исходя из того, где находятся потенциальные клиенты, где может быть использована высокая башня или здание и т. д.

Если базовая станция расположена в месте, где нет подходящих медных или волоконных соединений с базовой сетью, ей также требуется эффективное решение для связи пункта с пунктом в целях обеспечения соединительной линии для системы ШБД. Кроме того, применение для систем ШБД может эффективно использоваться для предоставления возможности соединительных линий для других радиосистем LAN, действующих в пределах зоны покрытия системы ШБД.

6.6.6 Комбинированное развертывание

Фиксированные системы ШБД часто развертываются в сочетании с другими видами ШБД, т. е. подвижными и кочевыми, предоставляя интегрированные службы ШБД. Такие применения особенно полезны в средах, где кабельная инфраструктура еще не развернута.

Если радиооборудование для ШБД разрабатывается на основе характеристик взаимодействия, например тех, о которых говорится в Рекомендации МСЭ-R F.1763, вся стоимость беспроводных средств может быть существенно сокращена. Конкретный пример конвергентного применения ШБД описан в Приложении 1.

6.7 Транспортные характеристики

6.7.1 Независимость службы

Фиксированные системы ШБД должны обеспечивать службы, не требуя информации о типе применения.

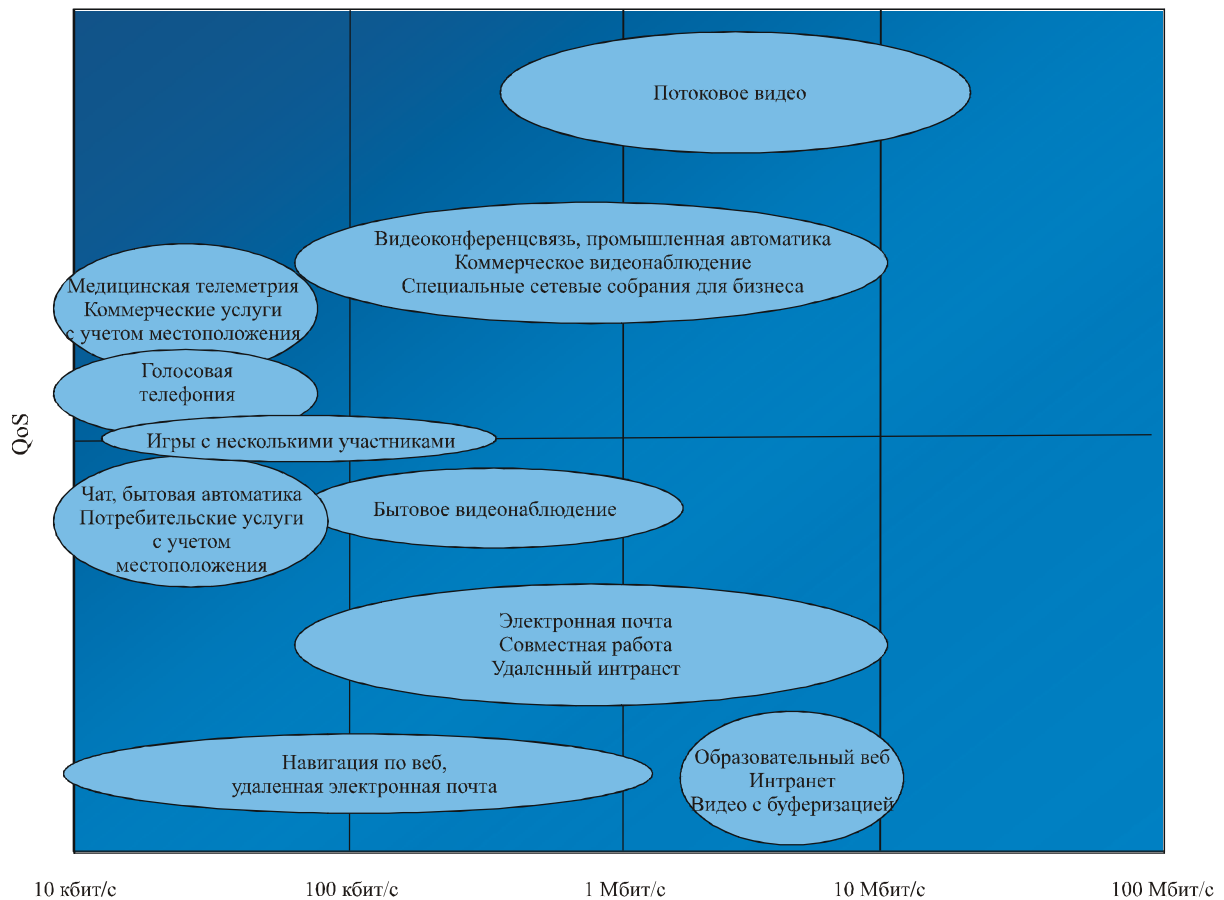
6.7.2 Поддержка службы

6.7.2.1 QoS

Система должна поддерживать гарантии QoS для предоставления транспортных служб. Таким образом, в стандартах на протоколы должны определяться интерфейсы и процедуры, приспособляющие требования служб в отношении распределения приоритетов на радиоресурсы. Существующие применения и взаимосвязи между ними показаны на рисунке 7.

РИСУНОК 7

Некоторые существующие доступные применения и их типичная ширина полосы и требования QoS



Rap 2086-07

6.7.2.2 Преобразования QoS для применения

Существующий в системах базовый механизм поддержки требований для классов QoS/обслуживания должен иметь возможность распределения различных ширин полос различным применениям. Некоторые протоколы включают механизм динамической поддержки переменных ширин полос каналов и трактов (например, тех, которые определены для сред с использованием протокола IP).

Поскольку клиентские блоки будут конфликтовать из-за пропускной способности для связи с базовыми станциями в прямом и обратном направлении, конфликтные ситуации и вопросы с распределением ширины полосы должны быть эффективно разрешены.

6.7.3 Гибкая асимметрия

За короткий период времени (например, несколько секунд), трафик созданный любым заданным пользователем, или направленный ему, может иметь в любом из направлений ярко выраженный асимметричный характер. В некоторых системах ШБД эффективно поддерживается такой тип асимметричного трафика. За более продолжительный период времени, данному пользователю может понадобиться в среднем большая ширина полосы в одном направлении, нежели в обратном направлении.

Суммарный трафик, создаваемый всеми пользователями и направляемый всем пользователям, использующим совместно одни и те же радиоресурсы, может быть мгновенно асимметричным и даже асимметричным в течение продолжительного периода времени, в зависимости от вида пользователей, подсоединенных к совместно используемым ресурсам.

6.7.4 Адаптация скорости по требованию абонента

Для далеких и близких абонентов могут применяться различные способы модуляции и/или кодирования. Следовательно, скорость данных, передаваемых к относительно близкому абоненту или от него, может быть выше, увеличивая общую пропускную способность системы. Кроме того, далекие абоненты могут испытывать помехи с различными профилями и, таким образом, обычно извлекают пользу из адаптации скорости. В большинстве систем ШБД обеспечивается поддержка многоскоростных режимов.

Для того чтобы обеспечить соответствие договорным уровням обслуживания, желательно согласовать с клиентами вопросы пропускной способности канала и изменение пропускной способности. Обычно используются, например, типы гибкой модуляции, корректировка уровня мощности и схемы резервирования ширины полосы.

6.7.5 Пропускная способность

Хотя пропускная способность зависит от ширины полосы, схемы модуляции и т. д., для того чтобы система была конкурентоспособным по сравнению с проводными решениями, желательно, чтобы в ней поддерживалась скорость передачи данных в пункте доступа более нескольких десятков Мбит/с, являющаяся мгновенной совокупной скоростью передачи (в восходящем плюс нисходящем потоках) и совместно используемая пользователями.

6.7.6 Расширяемость

Расширяемые протоколы позволяют достигать различных объемов информации и характеристик в реализациях систем. Системы ШБД часто поддерживают характеристики, позволяющие максимизировать расширяемость при развертывании.

6.7.7 Вопросы безопасности, относящиеся к радио

В системах ШБД обычно предоставляются безопасные средства аутентификации, авторизации и соответствующие средства кодирования для обеспечения конфиденциальности.

6.8 Функция управления системой

В системе должен быть определен интерфейс управления сетью, основанный на существующих протоколах открытых стандартов (например, SNMP), который обеспечивает следующие аспекты управления:

- **Управление отказами и качеством работы**

Протоколы должны обеспечивать контроль отказов и качества работы, а также предоставлять средства местного и удаленного тестирования отдельно для каждого АБ. Функциональные возможности управления должны также включать в себя перезагрузку, повторное включение и выключение.

- **Управление конфигурацией и обновлением программного обеспечения**

Протоколы должны обеспечивать как локальную, так и удаленную конфигурации, включая обновление программного обеспечения в любом устройстве сети без прерывания обслуживания.

- **Безопасность**

Система должна обеспечивать услуги централизованной аутентификации и авторизации.

- **Управление обслуживанием**

Протоколы должны давать возможность операторам обеспечивать выполнение соглашений об уровне обслуживания (СУО) с абонентами за счет ограничения доступа к радиопотокам, исключения данных, динамического контроля ширины полосы, доступной пользователю или другие соответствующие средства.

6.9 Ослабление влияния помех

6.9.1 Типы помех

Помехи в системе ШБД можно разделить на внутрисистемные и межсистемные помехи. Внутрисистемные помехи включают в себя помехи внутри соты и помехи между сотами.

6.9.2 Методы ослабления влияния помех

В указанных ниже разделах описываются возможные методы ослабления влияния помех, которые могут применяться в системах ШБД.

6.9.2.1 Размещение станции при сетевом планировании

Разделение мешающих передатчиков и испытывающих помехи приемников может уменьшить уровень помехи на входе приемников.

6.9.2.2 Улучшение характеристик антенны

За счет улучшения характеристик антенн можно уменьшить помеху в других направлениях и снизить помеху другим сотам. Указанные ниже методы могут особенно улучшить характеристики антенн:

- подавление бокового лепестка
- улучшение защитного действия антенны в заднем полупространстве
- формирование диаграммы направленности антенны (APS)

Сочетание всенаправленной антенны для БС и антенны с игольчатой диаграммой направленности для АБ подходит для обеспечения эффективного покрытия всей зоны обслуживания в системах Р-МР. Луч антенны АБ должен быть настолько узким, чтобы подавлялось большинство отраженных сигналов, за исключением тех, которые приходят от отражающих поверхностей, например, зданий, расположенных рядом с БС.

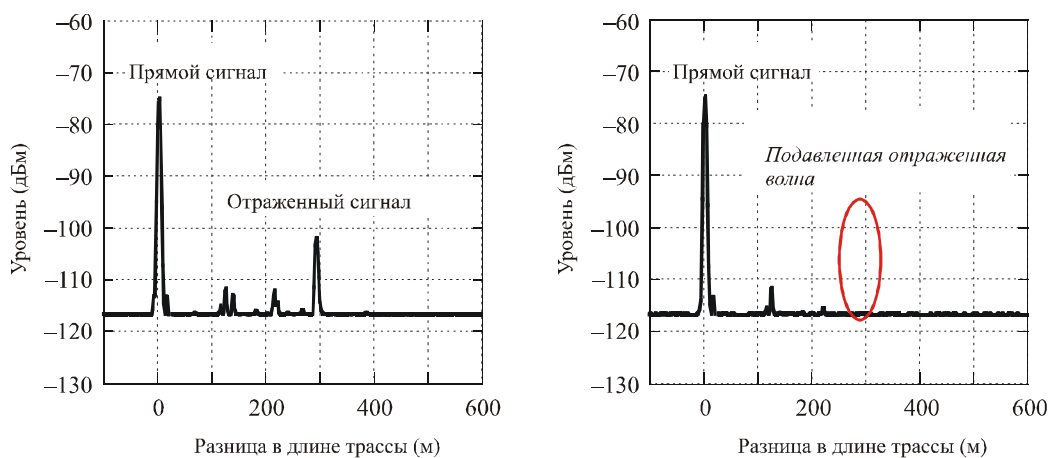
Простым и экономичным решением для таких типов помех является APS за счет использования материала, поглощающего радиоволны. APS происходит тогда, когда материал, поглощающий радиоволны, прикрепляется к обтекателю антенны БС, при этом подавляется мощность сигнала в направлении отражающих поверхностей, и следовательно, уменьшается уровень отраженного сигнала, попадающего на АБ.

Угол подавления гибко регулируется в зависимости от расположения отражающей поверхности.

На рисунке 8 представлен пример действия данного метода. На рисунке 8а) показан отраженный сигнал с разницей в длине трассы 300 м без применения метода APS. На рисунке 8б) показано, что после применения метода APS, отраженный сигнал подавляется до уровня, ниже уровня шума.

РИСУНОК 8

Пример действия метода APS



а) Без метода APS

б) С методом APS

6.9.2.5 Регулировка мощности

Мощность передачи является важным ресурсом в системах ШБД. Во вкладе регулировки мощности, особенно автоматической регулировки мощности передатчика (АРМП), в ослабление влияния помех более важным является то, что она позволяет не допустить потери мощности и снизить уровень помехи в соте.

6.9.2.6 Многопользовательское определение (MUD) в системе CDMA

В системе CDMA метод многопользовательского определения (MUD) может эффективно подавлять межсимвольные помехи (МСП) и помехи многостанционного доступа (МАИ). Одной из проблем MUD является сложность вычислений.

6.9.2.7 Улучшение фильтрации приемника/передатчика

Улучшение фильтрации может сократить внеполосные излучения нежелательного сигнала передатчика и снизить внутрисотовую помеху на входе приемника.

6.9.2.8 Адаптивная модуляция и кодирование

Адаптивная модуляция и кодирование обеспечивают компромисс между уровнем помехи и эффективностью.

6.9.3 Применение методов ослабления влияния помех

ТАБЛИЦА 4

Применение методов ослабления влияния помех

Метод ослабления влияния помех	Помеха		
	внутрисотовая	межсотовая	межсистемная
Размещение станции		√	√
Улучшение характеристик антенны	√	√	√
Развязка по поляризации		√	
Синхронизация	√	√	
Регулировка мощности	√	√	√
MUD в системах CDMA	√ ⁽¹⁾	√*	
Улучшение фильтрации передатчика/приемника		√	√
Адаптивная модуляция и кодирование	√	√	√

⁽¹⁾ Только для систем CDMA.

6.10 Поддержка систем, использующих новые технологии

Указанные ниже технологии улучшают характеристики систем ШБД в фиксированной службе. В Отчете МСЭ-R F.2047 представлена подробная информации об этих и других технологиях.

– Дальнейшее улучшение эффективности использования спектра

Перспективные схемы многопозиционной модуляции и/или методы ММО позволяют предоставлять новые широкополосные применения. Более того, формирование спектра и использование двойной поляризации также способствует улучшению эффективности использования спектра.

– Конвергенция с другими беспроводными и проводными системами

Широкополосные службы предоставляются не только системами ШБД, но также и другими беспроводными системами; спутниковыми и подвижными системами. Предоставление бесшовного обслуживания между этими системами в значительной степени улучшает удобство для пользователя.

– **Системы с многими полосами частот**

Существуют различные условия тракта распространения радиоволн, трафика и т. д. Выбор системы с наиболее подходящими полосами частот всегда дает лучшую связь.

– **Адаптивные антенные системы (ААС)**

Под ААС понимаются антенные решетки и соответствующая обработка сигнала, которые вместе могут динамически изменять диаграмму направленности антенны для адаптации к шумовой обстановке, помехам и многолучевости. Адаптивные антенные решетки формируют неограниченное количество диаграмм направленности (в зависимости от сценария), которые могут корректироваться в режиме реального времени. Это означает, что при передаче сигнал, как в прожекторе, может быть ограничен требуемым направлением на приемник. Наоборот, при приеме, ААС может сфокусироваться только на том направлении, с которого приходит полезный сигнал. Преимущество использования адаптивной антенной системы заключается в том, что она может уменьшить действующую помеху в пределах соты путем концентрации энергии между базовой станцией и активными абонентами, а за счет сведения к нулю помехи от других источников может быть повышена пропускная способность соты. У них также есть свойство подавления помехи в совмещенном канале от других местоположений. Эти свойства позволяют использовать спектр более эффективным образом.

– **Радиосвязь с программируемыми параметрами (SDR)**

Радиосвязь, при которой эксплуатационные РЧ параметры, включая, в том числе диапазон частот, тип модуляции и выходную мощность, могут устанавливаться или изменяться с помощью программного обеспечения и/или методы, с помощью которых это достигается.

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – За исключением изменений эксплуатационных параметров, которые имеют место в результате обычного предустановленного или предопределенного режима радиосвязи в соответствии с характеристиками системы или стандартом.

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – SDR является методом реализации, применимым ко многим радиотехнологиям и стандартам.

ПРИМЕЧАНИЕ 3. – В рамках подвижной службы методы SDR применимы как к передатчикам, так и к приемникам.

– **Адаптивная модуляция**

За счет применения адаптивной модуляции и технологии кодирования, адаптация скорости передачи данных пользователя становится функцией от состояния канала (например, SINR, частота замираний и т. д.) Количество уровней модуляции динамически изменяется.

– **Ортогональное частотное разделение (OFDM)**

Ортогональное частотное разделение является методом разделения, при котором ширина полосы канала подразделяется на много поднесущих, которые ортогональны друг другу в частотной области. Поток входных данных далее делится на много параллельных подпотоков, каждый с уменьшенной скоростью передачи данных (следовательно, с увеличенной длительностью символа), и каждый подпоток модулируется и передается на отдельной ортогональной поднесущей. В методе OFDM данные распределяются среди большого числа несущих, которые разнесены друг от друга на определенные частоты. Такое разнесение обеспечивает "ортогональность" в этом методе, которая не позволяет демодуляторам принимать частоты, кроме их собственных. Последние символы информационной части потока данных обычно присоединяются в виде повторения в начало полезной информации, формируя так называемый циклический префикс (CP). CP может полностью устранить МСП, поскольку его длительность больше, чем разброс задержки в канале. OFDM использует частотное разнесение многолучевого канала путем кодирования и перемежения информации между поднесущими до передачи. Модуляция OFDM может быть реализована с помощью обратного быстрого преобразования Фурье (IFFT), обеспечивающего большое количество поднесущих и невысокую сложность. Достоинствами OFDM являются высокая эффективность использования спектра, устойчивость к радиочастотным помехам, повышенная устойчивость к разбросу задержки и меньшие искажения из-за многолучевости, которые предлагают привлекательное решение для радиочастот ниже 10 ГГц.

– **Множественный доступ с ортогональным частотным разделением (OFDMA)**

Множественный доступ с ортогональным частотным разделением (OFDMA) представляет собой схему многостанционного доступа для систем OFDM. Он позволяет одновременно многим пользователям осуществлять передачу/прием на различных поднесущих для символа OFDM. Технология OFDMA позволяет группировать поднесущие OFDM в подканалы, и распределять каждый подканал или ряд подканалов различным абонентам. Имеется возможность использовать для каждого подканала различные схемы модуляции, скорости кодирования, механизмы формирования диаграммы направленности антенны, поддержку MIMO и т. д. К главным преимуществам OFDMA относятся характеристики расширяемости, точности и пропускной способности.

– **Использование полос частот свыше 57 ГГц**

Системы ШБД, в которых используются полосы частот свыше 57 ГГц и системы оптической электросвязи в свободном пространстве, смогут предоставить новые широкополосные применения.

Приложение 1

Пример одного конкретного применения ШБД

1 Введение

В данном Приложении описывается пример технических аспектов применения ШБД, о котором идет речь в п. 6.6.6. Данная система ШБД состоит из фиксированных, подвижных и кочевых применений, включая локальные радиосети, и, в целом, предоставляет интегрированную бесшовную службу беспроводного доступа. Система уже была введена в действие в поездах, следующих по 58-километровой железной дороге между Токио (город с пригородами) и Цукубой.

2 Описание и конфигурация системы

Задачей данной службы является предоставление высокоскоростного ШБД для пассажиров в поезде. Большинство пользователей с беспроводными терминалами подключаются к интернету, когда они находятся на улице, используя системы PHS или сотовые системы. Вследствие пропускной способности системы предел пропускной способности таких соединений в настоящее время составляет порядка 300 кбит/с. Для предоставления пассажирам поезда широкополосных служб (порядка одного Мбит/с), была разработана конкретная система ШБД, использующая полностью беспроводные соединения.

Все широкополосная служба включает три вида беспроводных соединений, т. е. фиксированные, кочевые и подвижные (см. рисунок 9).

Фиксированные соединения ШБД:

- Соединения между AP (пунктами доступа), развернутыми в каждом купе (линия А на рисунке 9);
- Соединительная линия между промежуточными AP, развернутыми вдоль железной дороги (линия В на рисунке 9).

Кочевые соединения ШБД:

- Точечные ПД внутри помещения, развернутые в купе поезда или станционных помещениях (покрытие С1, С2 на рисунке 9).

Подвижные соединения ШБД:

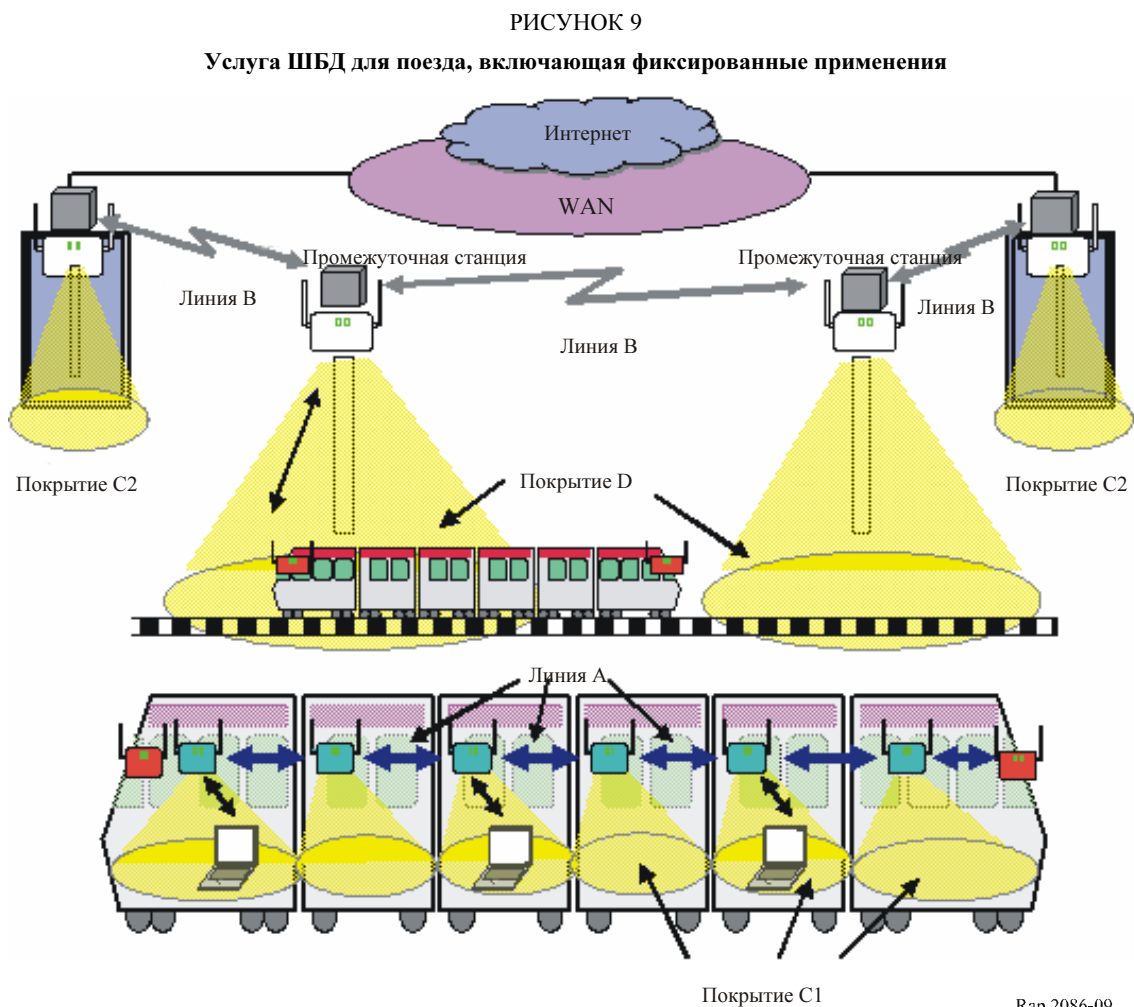
- ПД вне помещения для обеспечения покрытия в поезде, едущем по железной дороге (покрытие D на рисунке 9).

В рамках сферы применения данного Отчета фиксированные соединения являются основными применениями, которые особенно важны там, где не доступна проводная инфраструктура вдоль железной дороги или в поезде.

Линии ШБД, соединяющие AP (линия A), могут быть проложены в существующем поезде. Такое соединение должно проходить через перегородки или окна между купе, поэтому частота не должна быть слишком высокой (например, ниже 6 ГГц). Пропускная способность при передаче должна быть достаточной, чтобы перенести весь трафик в поездах, который подсоединен к WAN через подвижное соединение ШБД.

Соединительные линии типа P-P между промежуточным AP (линия B) могут работать в условиях прямой видимости. Они также предоставляют быстрые и экономичные беспроводные решения там, где кабельная инфраструктура не развернута. Пропускная способность при передаче должна выдерживать весь трафик от нескольких поездов, одновременно движущихся между станциями.

Промежуточные AP оснащаются как фиксированными, так и кочевыми/подвижными соединениями.



Rap 2086-09

Как показано на рисунке 9, терминалы пассажиров устанавливают свои беспроводные соединения с помощью пунктов доступа WiFi, размещенных в каждом купе поезда. Для предоставления соединений конечным пользователям используется типичная система 802.11b (2,4 ГГц), поскольку большинство терминалов, таких как портативные компьютеры, КПК, телефоны WiFi и т. д., оснащены встроенными устройствами WiFi. AP в каждом купе может быть соединен с

использованием частоты 5 ГГц. Движущийся поезд поддерживает широкополосное беспроводное соединение (покрытие D на рисунке 9), используя систему 802.11g (2,4 ГГц). Когда поезд подъезжает к другому покрытию D, то для поезда задействуется эстафетная передача для сохранения соединения путем использования подвижной технологии IP. Подвижный маршрутизатор, установленный на поезде, взаимодействует с собственным агентом/чужим агентом и осуществляет бесшовную эстафетную передачу в рамках поезда, движущегося с максимальной скоростью 130 км/ч. Промежуточные станции соединены при помощи фиксированной беспроводной системы типа Р-Р (линия В) с использованием диапазона 25 ГГц.

После того, как пассажиры установили соединения с пунктами доступа WiFi на станции и прошли аутентификацию в сети с помощью идентификатора пользователя и пароля, они могут получить доступ к интернету. После того как они сели на поезд и пока они находятся в поезде, услуга беспроводного соединения к интернету предоставляется без какого-либо изменения настроек терминала или дополнительных действий (покрытие С1). После того, как они сошли с поезда в пункте назначения, их соединение все еще может сохраняться с помощью средств, развернутых на станции (покрытие С2).

3 Базовые параметры системы

Данная система включает три вида беспроводных соединений, изображенных на рисунке 9. Ниже приводятся базовые параметры системы:

- Фиксированные соединения ШБД (линия А и линия В на рисунке 9)

	Линия А	Линия В
Диапазон частот	5 ГГц	25 ГГц ⁽¹⁾
Выходная мощность передатчика	15 дБм	0 дБм
Ширина полосы канала	18 МГц	26 МГц
Разнос частот между каналами	20 МГц	20 МГц
Тип антенны (усиление)	Всенаправленная (2,6 дБи) Направленная (7 дБи)	Направленная (31,5 дБи)

⁽¹⁾ Нелицензируемый диапазон в Японии

- Кочевые соединения ШБД (покрытия С1 и С2 на рисунке 9)

Диапазон частот	2,4 ГГц
Выходная мощность передатчика	20 дБм
Ширина полосы канала	18 МГц
Разнос частот между каналами	5 МГц
Тип антенны (усиление)	Всенаправленная (2,1 дБи)

- Подвижные соединения ШБД (покрытие D на рисунке 9)

Диапазон частот	2,4 ГГц
Выходная мощность передатчика	15 дБм
Ширина полосы канала	18 МГц
Разнос частот между каналами	5 МГц
Тип антенны (усиление)	Направленная (6–19 дБи)

4 Фиксированные соединения ШБД

4.1 Соединение между АП в поезде

Линия А на рисунке 9 должна работать в условиях вне прямой видимости, потому что радиосредства устанавливаются в верхней части купе с целью не допустить блокирования со стороны пассажиров, а кроме того, в качестве препятствий выступают перегородки. Поэтому частота должна быть не слишком высокой, учитывая характеристики распространения радиоволн. В данной системе для линии А используется диапазон 5 ГГц. В связи с тем, что движение поезда и пассажиров приводит к замираниям из-за многолучевости, для преодоления замираний в АР используются двухканальные разнесенные в пространстве антенны.

4.2 Соединительные линии между промежуточными станциями

В соответствии с требованиями системы промежуточные станции должны покрывать всю зону вдоль железной дороги. Промежуточные станции следует устанавливать каждые 1-2 км, поскольку радиус покрытия D ограничен одним километром. Для их быстрого и эффективного с точки зрения затрат развертывания требуется использовать в качестве соединительных линий фиксированные беспроводные системы вместо волоконно-оптических сетей. Для передачи трафика от нескольких поездов в зоне покрытия требуется большая пропускная способность линии. Для соединительных линий используются система Р-Р, работающая на частоте 25 ГГц, с максимальной пропускной способностью 80 Мбит/с. Для сохранения прямой видимости направленные антенны устанавливаются на верхнюю часть крыши зданий или на вершину опор линий электропередач. В случае скоростной железной дороги в районе Цукубы имеется 20 станций и 30 промежуточных станций, расположенных вдоль 58-километровой железной дороги, которые обеспечивают покрытие всей зоны.

5 Соединение с WAN

На каждой железнодорожной станции используется оптическое волокно, по которому передается весь трафик, создаваемый на данной станции или в поезде. Широкополосный трафик передается в WAN через 2 шлюзовые станции, обеспечивающие возможность соединения с интернетом.
