

## ОТЧЕТ МСЭ-R F.2058

**Методы проектирования, применимые к системам широкополосного  
фиксированного беспроводного доступа, которые транспортируют  
пакеты протокола Интернет или ячейки асинхронного  
режима передачи**

(2006)

## СОДЕРЖАНИЕ

*Стр.*

1	Введение.....	2
2	Типы систем FWA, транспортирующих пакеты IP или ячейки ATM, в отношении использования радиостволов .....	2
3	Сфера применения .....	3
4	Справочные документы .....	3
5	Сокращения .....	5
6	Рассматриваемые технические характеристики.....	8
6.1	Модуляция и метод многостанционного доступа.....	8
6.2	CoS и QoS.....	9
6.3	Характеристики задержки передачи.....	9
6.4	Способ VoIP.....	10
6.5	Метод эффективного использования спектра .....	10
6.6	Методы исправления ошибок в системе FWA на основе ATM.....	10
	ПРИЛОЖЕНИЕ 1. – Механизм обеспечения QoS или CoS в системах широкополосного FWA.....	11
	ПРИЛОЖЕНИЕ 2. – Примеры расчетов средней задержки протокола доступа и изменений задержки FWA на основе CSMA/CA.....	29
	ПРИЛОЖЕНИЕ 3. – Пример расчетов дополнительного времени ожидания в нескольких ситуациях потока VoIP для FWA на основе TDMA .....	34
	ПРИЛОЖЕНИЕ 4. – Пример расчетов задержки сети с QoS класса 0.....	39
	ПРИЛОЖЕНИЕ 5. – Технические характеристики широкополосных систем FWA для поддержки метода VoIP.....	43
	ПРИЛОЖЕНИЕ 6. – Методы повышения эффективности использования спектра .....	50
	ПРИЛОЖЕНИЕ 7. – Методы исправления ошибок в системах FWA, базирующихся на ATM.....	53

## 1 Введение

Рынок электросвязи срочно нуждается в услугах широкополосной связи. Потребности пользователей не однородны и различны в плане скорости передачи данных и качества обслуживания. Межсетевой протокол (IP) и режим асинхронной передачи (ATM) становятся базовыми методами передачи сигналов в новых проводных сетях с тем, чтобы удовлетворять таким потребностям в мультимедийных услугах. Данная тенденция затрагивает также системы фиксированной беспроводной связи, используемые в сетях доступа. Как правило, понимается, что желательно, чтобы системы фиксированного беспроводного доступа (FWA), основанные на IP и ATM, имели такую же возможность управления качеством обслуживания (QoS) или классом обслуживания (CoS), как и в проводных сетях.

QoS и CoS определяются как классифицированные категории, определяемые параметрами качества передачи. QoS используется для классов качества передачи, которые удовлетворяют требованиям к качеству, предъявляемым пользователями. С другой стороны, CoS обычно используется для классов аналогичного качества, которые администратор сети представляет пользователям в качестве ориентира.

Кроме того, системы FWA необходимы для достижения показателей требуемых рабочих характеристик IP или ATM в проводной сети, принятых в Рекомендациях МСЭ-T I.356 и Y.1541. С этой целью должны быть разработаны параметры физического уровня (PHY) систем FWA, удовлетворяющие показателям требуемых технических характеристик IP или ATM.

Взаимосвязи между параметрами уровня PHY и требуемыми техническими характеристиками уровня IP, как например IPTD, даны в Рекомендациях МСЭ-T Y.1540 и Y.1541. Взаимосвязи между параметрами уровня PHY и требуемыми техническими характеристиками уровня ATM, как например коэффициент потери ячеек (CLR) или коэффициент ошибок по ячейкам (CER), даны в Рекомендации МСЭ-T I.356. Системы FWA на основе ATM должны также удовлетворять показателю (SESR), определенному в Рекомендации МСЭ-R F.1668 (требования и показатели качества и готовности для систем FWA, соединенных с КТСОП, описаны в Рекомендации МСЭ-R F.1400).

IP и ATM являются технологиями на основе пакетов или ячеек, работающими с высокой тактовой частотой, при которой передача IP-пакетов или ячеек ATM может влиять на проектирование системы и эффективность использования радиочастотного спектра. Такие требования приведут к подходам к проектированию, отличным от существующих в отношении систем FWA на основе телефонии. Кроме того, технологии, необходимые для IP-пакетов или ячеек ATM, являются во многих отношениях общими с технологиями, используемыми в локальных радиосетях (RLAN).

Цель настоящего Отчета состоит в предоставлении примерных способов и методов проектирования, в которых учитываются различные аспекты систем FWA, транспортирующих данные IP или ATM.

## 2 Типы систем FWA, транспортирующих пакеты IP или ячейки ATM, в отношении использования радиостволов

Типы систем FWA, транспортирующих IP-пакеты или ячейки ATM, в отношении использования радиостволов можно классифицировать следующим образом.

Первый тип предназначен для распределения единственного радиоствола каждому абоненту на постоянной основе или в период удержания вызовов. Типичными являются системы широкополосного беспроводного доступа для связи пункта с пунктом (P-P) или пункта со многими пунктами (P-MP), в которых обычно используются полосы частот в диапазоне свыше 20 ГГц. Данный тип системы обычно используется для предоставления услуг доступа по арендованной линии.

Второй тип предназначен для распределения радиоресурса в случае попытки вызова. Типичной системой является система FWA, предоставляющая услуги КТСОП массовым пользователям. В некоторых системах используются технологии подвижного беспроводного доступа для снижения затрат на оборудование.

Третий тип предназначен для распределения радиоствола только при появлении трафика, например IP-пакетов или ячеек ATM. При использовании системы этого типа достигается более эффективное использование частот, по сравнению с системами первых двух типов, в частности в отношении топологии P-MP. Топология MP-MP также подходит для данного типа систем FWA.

Типичные системы второго типа включают системы, основанные на RLAN. Системы FWA на основе технологий RLAN могут также иметь преимущество в плане снижения затрат на оборудование. В случае передачи ячеек ATM особенность третьего типа можно пояснить следующим образом. Существуют два случая систем FWA, транспортирующих ячейки ATM:

- a) система FWA, прозрачно передающая ячейки ATM без определения какой-либо информации, содержащейся в той или иной ячейке;
- b) система FWA, определяющая информацию, которая содержится в части ячейки ATM, относящейся к заголовку, и управляющая, таким образом, обработкой каждой ячейки на участке радиолинии.

В случае a) метод проектирования систем FWA, в основном, должен быть идентичен методу, предназначенному для передачи сигналов СЦИ. Это соответствует первому типу систем FWA, описанному выше.

С другой стороны, в случае b) может иметь место другой подход к передаче ячеек ATM по участку радиолинии в целях эффективного использования радиочастотного спектра.

Некоторые RLAN, используемые, главным образом, в целях обеспечения кочевого беспроводного доступа (NWA), или другие типы систем беспроводного доступа, в которых используется передача по радио IP-пакетов или ячеек ATM, реализованы в качестве серийных продуктов или изучаются органами стандартизации форумов. Стандарты систем фиксированного и кочевого беспроводного доступа приведены в Рекомендации МСЭ-R F.757 и Рекомендации МСЭ-R M.1450.

### 3 Сфера применения

В настоящем Отчете приводятся различные методы проектирования, применяемые к системам FWA, основанным на RLAN или технологиях NWA, которые обеспечивают транспортирование IP-пакетов или ячеек ATM со скоростью, превышающей несколько Мбит/с, и предназначенным для повсеместного внедрения.

Решения по проектированию, представленные в Приложениях к настоящему Отчету, предлагаются в качестве способов обеспечения соответствия конкретным стандартам уровня MAC, изложенным в Рекомендациях МСЭ-T, касающихся IP- или ATM-передачи. Следует также отметить, что материал, представленный в Приложении 6, не применим к IP-трафику, поскольку понятие пустой ячейки в большей степени характерно для ATM.

Фиксированный беспроводный доступ, обсуждаемый в настоящем Отчете, главным образом сосредоточен на применениях Р-МР, при которых пропускная способность одной радионесущей, обеспечиваемой базовой станцией, будет совместно использоваться несколькими или многими оконечными станциями, хотя некоторые из методов, описанных в Приложениях к настоящему Отчету, используются также для применений Р-Р и МР-МР.

### 4 Справочные документы

#### Рекомендации МСЭ-R

Рекомендация МСЭ-R F.757	Основные требования к системе и показатели качества для фиксированного беспроводного доступа с использованием методов, берущих начало в подвижных технологиях, который предлагает услуги телефонной связи и передачи данных.
Рекомендация МСЭ-R M.1450	Характеристики широкополосных локальных радиосетей.
Рекомендация МСЭ-R F.1668	Показатели качества по ошибкам для реальных цифровых линий фиксированной беспроводной связи, используемых в гипотетических эталонных трактах и соединениях протяженностью 27 500 км.
Рекомендация МСЭ-R F.1704	Характеристики фиксированных беспроводных систем связи "многих пунктов со многими пунктами" со смешанной топологией сети, работающих в полосах частот выше примерно 17 ГГц, 2004 год.

Рекомендация МСЭ-R F.1763                      Стандарты радиointерфейса для систем широкополосного беспроводного доступа в фиксированной службе, действующих в полосах частот ниже 66 ГГц.

#### **Рекомендации МСЭ-T**

Рекомендация МСЭ-T Y.1540                      Услуга связи по протоколу Интернет – Параметры рабочих характеристик переноса и доступности IP-пакетов.

Рекомендация МСЭ-T Y.1541                      Требования к сетевым показателям качества для служб, основанных на протоколе IP.

Рекомендация МСЭ-T P.800                        Методы субъективной оценки качества передачи.

Рекомендация МСЭ-T P.862                        Функция отображения для преобразования грубых итоговых оценок P.862 в MOS-LQO.

Рекомендация МСЭ-T I.356                        Качество передачи ячеек уровня АТМ Ш-ЦСИС.

Рекомендация МСЭ-T G.107                        Е-модель – вычислительная модель, используемая при планировании передачи.

Рекомендация МСЭ-T G.113                        Ухудшения передачи из-за обработки речи.

Рекомендация МСЭ-T G.114                        Время односторонней передачи.

Рекомендация МСЭ-T G.711                        Импульсно-кодовая модуляция голосовых частот.

Рекомендация МСЭ-T G.723.1                      Речевой кодер с удвоенной скоростью для мультимедийной связи, передающий со скоростью 5,3 и 6,3 кбит/с.

Рекомендация МСЭ-T G.729                        Кодирование речи со скоростью 8 кбит/с с использованием линейного предсказания с возбуждением сопряженным структурированным алгебраическим кодом (CS-ACELP).

#### **Другие документы**

ETSI TS 101 761-1 v1.3.1                        Broadband Radio Access Networks (BRAN); HIPERLAN Type 2; Data Link Control (DLC) Layer; Part 1: Basic Data Transport Functions.

ETSI TS 101 856 v1.1.1                        Broadband Radio Access Networks (BRAN); Functional Requirements for Fixed Wireless Access systems below 11 GHz: HIPERMAN.

ETSI TS 101 999 v1.1.1                        Broadband Radio Access Networks (BRAN); HIPERACCESS; PHY protocol specification.

IEEE standard for local and metropolitan area networks – Specific requirements – Part 11: Wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications – Amendment 1: High-speed physical layer in the 5 GHz band.

IEEE standard for local and metropolitan area network – Specific requirements – Part 11: Wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications.

IEEE standard for local and metropolitan area networks – Specific requirements – Part 11: Wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications – Amendment 4: Further higher-speed physical layer extension in the 2.4 GHz band.

IEEE standard for local and metropolitan area networks – Part 16: Air interface for fixed broadband wireless access systems.

ARIB STD-T70 v1.0 – Low power data communication systems/broadband mobile access communication system (HiSWANa).

Design and considerations for traffic class expediting and dynamic multicast filtering, IEEE Std 802.1D Annex H, IEEE, 1998.

<http://www.ietf.org/html.charters/mpls-charters.html>

<http://www.ietf.org/html.charters/diffserv-charter.html>

<http://www.ietf.org/html.charters/rsvp-charter.html>

Wireless medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications: Medium access control (MAC) enhancements for quality of service (QoS), IEEE std 802.11e/D1, March 2001.

INOUE, Y., SAITOH, S., IIZUKA, M. and MORIKURA, M. [December 2000] A fair data transfer method by using a CoS control mechanism for fixed wireless access systems, The 2000 International Conference on broadband wireless access systems, p. 19-25.

KAGAMI, O., OTHA, A. and HOJO, H. [November 2002] Development of compact wireless access equipment for an AWA system based on HiSWANa standard, *NTT Rev.*, p. 49-53, Vol. 14, No. 6.

TTC Standard JJ-201.01 [2003] A method for speech quality assessment of IP telephony.

ETSI TR 101 329-7 – End-to-end quality of service in TIPHON systems; Design guide for elements of TIPHON connection from an end-to-end speech transmission point of view.

MASUDA, M. and ORI, K. [November 2001] Network performance metrics in estimating the speech quality of VoIP, IEICE APSITT2001, p. 333-337.

ICHIKAWA, T., *et al.*, *Approximation of characteristics of CSMA/CA based on IEEE 802.11 standard*, B-5-186, Proceedings of the 2003 IEICE Society Conference.

## 5 Сокращения

В настоящем Отчете используются следующие сокращения:

ACK	Acknowledge	Подтвержение
AIFS	Arbitration inter-frame space	Арбитражный межкадровый интервал
ARQ	Automatic repeat request	Автоматически повторяющийся запрос
ATM	Asynchronous transfer mode	Асинхронный режим передачи
BC	Broadcast channel	Широковещательный канал
BCC	Block convolutional code	Блочный сверточный код
BE	Best effort	Наилучшие усилия
BEB	Binary exponential backoff	Двоичная экспоненциальная задержка
BER	Binary exponential backoff	Коэффициент ошибок по битам
BS	Base station	Базовая станция
BWA	Broadband wireless access	Широкополосный беспроводный доступ
CBR	Constant bit rate	Постоянная скорость передачи данных
CBQ	Class based queuing	Организация очереди на базе классов
CDV	Cell delay variation	Изменение задержки ячеек
CER	Cell error ratio	Коэффициент ошибок по ячейкам
CLR	Cell loss ratio	Коэффициент потерь ячеек

CMR	Cell misinsertion ratio	Коэффициент передачи ячеек, принятых не по адресу назначения
CoS	Class of service	Класс обслуживания
CSMA/CA	Carrier sensing multiple access with collision avoidance)	Многостанционный доступ с зондированием несущей и исключением столкновений
CTD	Cell transfer delay	Задержка при передаче ячейки
CW	Contention window	Окно конкурентного доступа
CWmin	Contention window minimum	Минимальное окно конкурентного доступа
DAMA	Demand assign multiple access	Многостанционный доступ с предоставлением каналов по требованию
DiffServ	Differentiated service	Дифференцированная услуга
DIFS	Distributed coordination function inter frame space)	Межкадровый интервал функции распределенной координации
DL	Data link	Линия передачи данных
DS	Differentiated service	Дифференцированная услуга
DSA	Dynamic slot assignment	Динамическое присвоение временных интервалов
EDCF	Enhanced distributed coordination function	Улучшенная распределенная функция координации
FCS	Frame check sequence	Контрольная последовательность кадра
FDD	Frequency division duplex	Дуплекс с частотным разделением
FSDD	Frequency switched division duplexing	Дуплексирование с коммутируемым частотным разделением
FEC	Forward error correction	Упреждающая коррекция ошибок
FIFO	First in first out	Принцип "первым пришел – первым обслужен"
FTP	File transfer protocol	Протокол передачи файлов
FWA	Fixed wireless access	Фиксированный беспроводный доступ
GBN	Go-Back-N method	Метод "возвращение-на-N"
GBR	Guaranteed bit rate	Гарантированная скорость передачи данных
HCF	Hybrid coordination function	Гибридная функция координации
HEC	Header error control	Проверка ошибок в заголовке
HIPERACCESS	High performance radio ACCESS network	Высококачественная сеть радиодоступа
HIPERMAN	High performance radio metropolitan area network	Высококачественная столичная радиосеть
HRP	Hypothetical reference path	Гипотетический эталонный тракт
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineering	Институт инженеров по электротехнике и радиоэлектронике
IETF	Internet engineering task force	Целевая группа по инженерным проблемам сети Интернет
IP	Internet protocol	Межсетевой протокол
IPDV	IP packet delay variation	Изменение задержки IP-пакетов
IPER	IP packet error ratio	Коэффициент ошибок в IP-пакетах
IPLR	IP packet loss ratio	Коэффициент потери IP-пакетов
IPTD	IP packet transfer delay	Задержка передачи IP-пакетов
ITU-R	International Telecommunication Union – Radiocommunication Sector	Сектор радиосвязи Международного союза электросвязи (МСЭ-R)

ITU-T	International Telecommunication Union – Telecommunication Standardization Sector	Сектор стандартизации электросвязи Международного союза электросвязи (МСЭ-Т)
LCO	Loss cell outcome	Результат потери ячеек
LDP	Label distribution protocol	Протокол распределения меток
LSR	Label switching router	Маршрутизатор с коммутацией по меткам
MAC	Media access control layer	Уровень управления доступом к среде
MC	Multicast	Многоадресный
MP	Measurement point	Точка измерения
MP-MP	Multipoint-to-multipoint	Связь многих пунктов со многими пунктами
MPLS	Multi-protocol label switching	Многопротокольная коммутация с использованием меток
MOS	Mean opinion score	Показатель усредненного мнения
NAK	Negative Acknowledge	Отрицательное подтверждение
nrtPS	Non-real-time polling service	Услуга опроса не в реальном мнении
OFDM	Orthogonal frequency division multiplexing	Мультиплексированные с ортогональным частотным разделением
PCR	Peak cell rate	Максимальная скорость передачи ячеек
PDU	Protocol data units	Протокольные блоки данных
PHSI	Payload header suppression identifier	Идентификатор удаления заголовка полезной нагрузки
PLC	Packet loss concealment	Маскирование потери пакетов
PS	Physical slot	Физический временной интервал
$P_{pl}$	Packet loss probability	Вероятность потери пакетов
$P_{plN}$	Packet loss probability in network	Вероятность потери пакетов в сети
$P_{plB}$	Packet loss probability in jitter absorption buffer	Вероятность потери пакетов в буфере для устранения дрожания
PHB	Per-hop behaviour	Пошаговое поведение
PHY	Physical layer	Физический уровень
P-P	Point-to-point	Связь пункта с пунктом
P-MP	Point-to-multipoint	Связь пункта со многими пунктами
PESQ	Perceptual evaluation of speech quality	Оценка восприятия качества речи
PSTN	Public switched telephone network	Коммутируемая телефонная сеть общего пользования (КТСОП)
QoS	Quality of service	Качество обслуживания
R	Rating factor	Показатель оценки
RSVP	Resource reservation protocol	Протокол резервирования ресурсов
rtPS	Real-time polling service	Услуга опроса в реальном времени
RTS/CTS	Request to send/clear to send	Запрос на передачу/готов для передачи
SLA	Service level agreement	Соглашение об уровне обслуживания
SC	Single carrier	Одна несущая
SDH	Synchronous digital hierarchy	Синхронная цифровая иерархия (СЦИ)

SDMA	Space division multiple access	Многостанционный доступ с пространственным разделением
SIFS	Short inter frame space	Короткий межкадровый интервал
SR	Selective repeat	Селективный повтор
TC	Traffic category	Категория трафика
TCI	Tag control information	Управляющая информация тега
TDD	Time division duplex	Дуплекс с временным разделением
TDM	Time division multiplex	Временное разделение каналов (ВРК)
TDMA	Time division multiple access	Многостанционный доступ с временным разделением
ToS	Type of service	Тип обслуживания
TTC	Telecommunication Technology Committee	Комитет по технологиям электросвязи
UBR	Unspecified bit rate	Нерегламентированная скорость передачи
UGS	Unsolicited grant service	Услуга предоставления без запроса
UNI	User network interface	Интерфейс пользователь-сеть
VoIP	Voice over Internet protocol	Передача речи по межсетевому протоколу (IP)
WAN	Wide area network	Территориально-распределенная сеть (ТРС)
WFQ	Weighted fair queuing	Взвешенная справедливая очередь
WRR	Weighted round robin	Взвешенное круговое обслуживание

## 6 Рассматриваемые технические характеристики

### 6.1 Модуляция и метод многостанционного доступа

Для руководства по предпочитаемым методам многостанционного доступа и способам модуляции для широкополосных систем FWA, транспортирующих IP-пакеты или ячейки ATM, можно обращаться к таблице 1.

ТАБЛИЦА 1

Методы многостанционного доступа и способы модуляции

Транспортируемый сигнал	Многостанционный доступ <sup>(1)</sup>	Модуляция
IP-пакет	TDM-TDD/FDD TDMA-TDD/FDD OFDMA-TDD/FDD DAMA-TDD/FDD CSMA/CA DSSS-OFDM	Адаптивная (4-, 16-, и 64-QAM) <sup>(2)</sup> Адаптивная (BPSK, 4-, 16-, и 64-QAM) <sup>(2)</sup> Адаптивная (BPSK, 4-, 16-, 64- и 256-QAM) <sup>(2)</sup> Предварительно установленная (4- и 16-QAM) Манипуляция комплементарными кодами (ССК) (QPSK) Прямая последовательность с распределенным спектром (DSSS) (BPSK, QPSK)
Ячейка ATM	TDM-TDD/FDD TDMA-TDD/FDD OFDMA-TDD/FDD DAMA-TDD/FDD	Адаптивная (4-, 16-, и 64-QAM) <sup>(2)</sup> Адаптивная (BPSK, 4-, 16-, и 64-QAM) <sup>(2)</sup> Адаптивная (BPSK, 4-, 16-, 64- и 256-QAM) <sup>(2)</sup> Предварительно установленная (4- и 16-QAM)

<sup>(1)</sup> Включая дуплексный способ.

<sup>(2)</sup> Эти методы модуляции могут применяться вместе с OFDM.

## 6.2 CoS и QoS

При всем разнообразии широкополосных применений наибольшим спросом пользуются услуги с гарантированным качеством обслуживания. Желательно также принять гарантию качества обслуживания в системах FWA, в которых разное качество связи соответствует различным услугам.

При FWA на основе ATM имеется возможность управления QoS, которое является одной из возможностей транспортирования ATM. С другой стороны, управление CoS представляет собой реалистичное решение для систем FWA на основе IP ввиду ограниченной полосы пропускания и характеристик радиоканала.

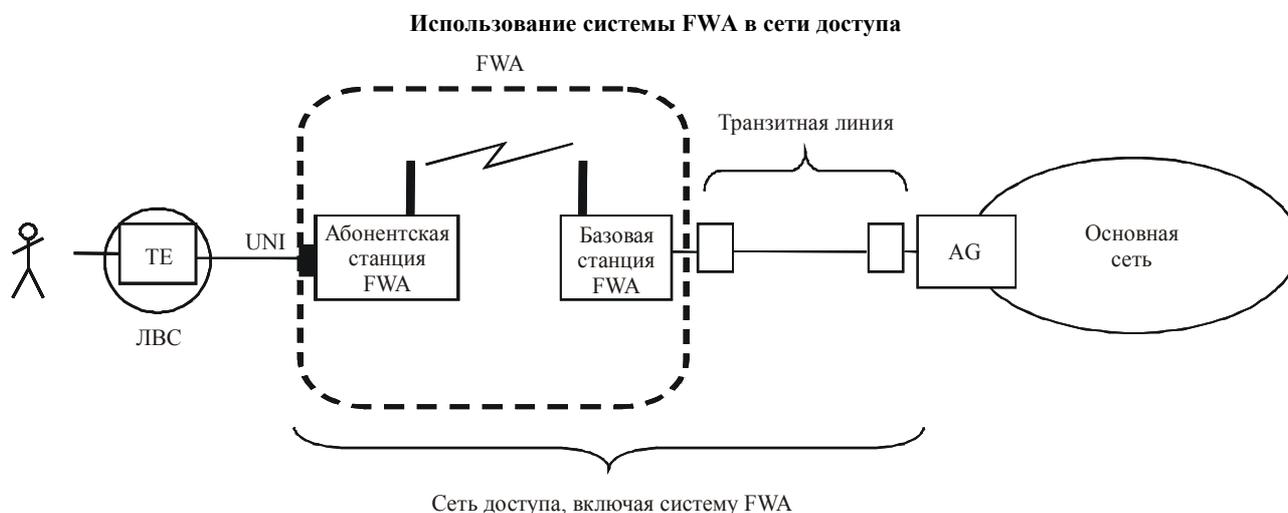
В Приложении 1 описывается механизм, обеспечивающий управление CoS и QoS в системах FWA, в которых используется распределенное управление или централизованное управление.

## 6.3 Характеристики задержки передачи

В Рекомендации МСЭ-T Y.1541 определяются общие показатели качества IP. При разработке систем FWA, транспортирующих IP-пакеты или ячейки ATM, среди рабочих параметров должны учитываться параметры задержки передачи, то есть IPTD и IPDV, определенные в Рекомендации МСЭ-T Y.1540.

В настоящее время отсутствует спецификация в отношении того, каким образом требования к сквозному интерфейсу UNI для IPTD и IPDV подразделяются на отдельные части, формирующие сеть доступа. В основном, системы FWA должны проектироваться так, чтобы в целом IPTD и IPDV, например в конфигурации на рис. 1, могли удовлетворять требованиям, указанным в Рекомендации МСЭ-T Y.1541.

РИСУНОК 1



AG: Шлюз доступа  
 TE: Оконечное оборудование  
 UNI: Интерфейс пользователь-сеть

Rap 2058-01

В целях выполнения вышеуказанных требований следует обратить внимание на следующие соображения.

Вообще, в оборудование FWA (например, абонентская станция, базовая станция и т. д.) могут входить некоторые буферы для управления синхронизацией, компенсации дрожания, форматирования кадра и т. д. Использование таких буферов приводит к увеличению задержки в системах FWA. Типичными протоколами для систем FWA являются CSMA/CA и TDMA, и такие протоколы доступа могут стать доминирующими факторами в отношении характеристик задержки в системах FWA.

### 6.3.1 Соображения в отношении IPTD

Для недопущения столкновений пакетов в схеме CSMA/CA были приняты отсрочка передачи и методы передачи RTS/CTS. Эти методы обуславливают увеличение IPTD, в частности, когда много станций одновременно пытаются направлять пакеты (см. Приложение 2).

В схеме TDMA базовые станции управляют всеми полосами частот и назначают их каждому потоку данных, относящихся к услуге, так что в принципе могут быть реализованы соединения без конфликтов. После того, как может быть установлено исходное соединение, возможно, не будет происходить увеличения IPTD как при CSMA/CA ввиду использования способов недопущения конфликтов подобных отсрочке передачи и RTS/CTS. Однако причиной увеличения IPTD могут стать некоторые факторы, такие как алгоритм планирования, структура кадра, нагрузка по трафику и пропускная способность (см. Приложение 3).

### 6.3.2 Соображения в отношении IPDV

В системах FWA на основе CSMA/CA обычно принимается схема BEB. Иногда она может вызывать большое IPDV. Данная схема уменьшает вероятность одновременных повторных передач со стороны множества станций, но влечет увеличение IPDV. Кроме того, особенно в случае, когда длинный пакет занимает радиоствол в течение длительного интервала, время ожидания передачи других пакетов увеличится. Это также приводит к ухудшению параметра IPDV.

При использовании схемы TDMA базовые станции могут управлять полосами частот на основе служебных потоков. Поэтому может быть реализована передача с меньшим дрожанием, по сравнению с CSMA/CA.

Техническое руководство и примеры расчета IPTD и IPDV, появляющихся в беспроводной системе при доступе к части IP-сети, приведены в Приложении 4.

## 6.4 Способ VoIP

В последнее время VoIP считается одним из наиболее привлекательных решений сети на основе IP.

В отношении VoIP существует несколько параметров качества работы для обеспечения некоторого QoS. Некоторые из этих параметров, например задержка или коэффициент потери пакетов, определены в Рекомендациях МСЭ-T для сквозной сети (включая проводные и беспроводные участки). Показатели для таких параметров качества работы на беспроводных участках должны быть также определены.

В Приложении 5 содержатся технические характеристики широкополосных систем FWA для поддержки VoIP, которые получены на основе проведенных в комитете TTC исследований, результаты которых содержатся в стандарте TTC JJ-201.01 – Метод оценки качества речи в IP-телефонии, 2003 год.

## 6.5 Метод эффективного использования спектра

Возможными двумя методами эффективного использования спектра являются метод управления уровнем РНУ и метод управления уровнем МАС.

Метод управления уровнем РНУ далее делится на два способа. Один способ состоит в полном заполнении пакетов или ячеек путем применения адаптивной модуляции, адаптивного TDD и DAMA. Другой способ состоит в повышении эффективности использования спектра путем применения SDMA с использованием секторной антенны или антенной решетки.

В случае метода управления уровнем МАС назначается достаточный спектр для передачи данных, в соответствии с их применением и качеством обслуживания. Данные фрагментируются или пакетируются для повышения эффективности программы загрузки данных. В Приложении 6 описывается технология изъятия незанятых ячеек без введения CDV для FWA на основе ATM с целью достижения эффективного использования спектра.

## 6.6 Методы исправления ошибок в системе FWA на основе ATM

В системах FWA на основе ATM эффективное увеличение качества по ошибкам обеспечивается путем применения ARQ и/или FEC.

В Приложении 7 представлены методы исправления ошибок в системе FWA на основе ATM.

## Приложение 1

### Механизм обеспечения QoS или CoS в системах широкополосного FWA

#### 1 Введение

В настоящем Приложении описываются механизмы обеспечения QoS или/i CoS в системах широкополосного FWA. Существуют два типа схем доступа к радиостволу. Один тип – это система распределенного управления, а другой – система централизованного управления. Примером системы распределенного управления являются системы IEEE 802.11. Они обеспечивают обслуживание с коммутацией пакетов, для которого принят CSMA/CA. С другой стороны, при централизованной системе управления базовая станция назначает временной интервал кадра MAC TDMA абонентским терминалам или осуществляет комбинированное разделение по частоте и времени при OFDMA. Примерами централизованной системы управления являются ETSI-BRAN HIPERMAN, HIPERACCESS, HIPERLAN, IEEE802.16-2004 или MMAC-HSWA HiSWAN. Полное QoS даже в условиях перегрузки достигается только при использовании систем централизованного управления.

Существуют две схемы для достижения QoS и CoS. Одна является схемой с приоритетом, которая предоставляет приоритетное управление среди классов обслуживания без определения конкретных параметров обслуживания. Другая является параметризованной схемой, обеспечивающей требуемые параметры качества связи. Только параметризованная схема может гарантировать QoS.

Прежде всего, в п. 2 представлен обзор по вопросу управления CoS. Далее в п. 3 представлены механизмы формирования очереди и приоритетного управления для обеспечения управления CoS. Затем в пп. 4 и 5, соответственно, представлен механизм управления CoS для схемы распределенного управления и механизм управления QoS для схемы централизованного управления. Наконец, в п. 6 приводится сравнение системы со схемой распределенного управления и системы со схемой централизованного управления.

#### 2 Обзор по вопросу управления CoS

##### 2.1 Модель самолета

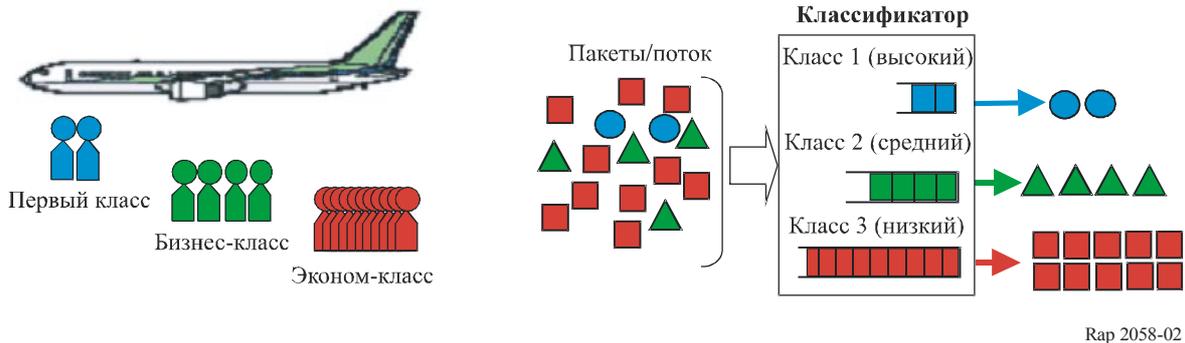
Управление CoS часто поясняется с помощью "модели самолета" (см. рис. 2). Качество обслуживания распределяется на несколько классов обслуживания подобно местам в самолете, которые делятся на первый, бизнес- и экономический классы. Более высокие классы обслуживания, чем класс наилучших усилий, используются для предоставления услуг высокого уровня, например, обеспечивающих минимальное время задержки или имеющуюся полосу частот. Высококачественная услуга обеспечивается, если запрос пользователя принят. Для определения того, какие классы обслуживания допустимы для передачи данных, используются методы контроля допуска или контроля выполнения правил. В соответствии с классом обслуживания, каждая передача данных осуществляется на основе этого качества. Однако объем трафика, переносимого в соответствии с такими более высокими классами обслуживания, ограничен ввиду того, что ограничена имеющаяся полоса частот.

##### 2.2 Механизм управления CoS для потоков наилучших усилий в условиях FWA

###### 2.2.1 Управление приоритетом при управлении CoS

Для обеспечения управления CoS необходимы, по меньшей мере, два CoS. Приоритет связывают с CoS, а разграничение осуществляется в соответствии с приоритетом. Базовая станция (BS) должна определять CoS для каждого случая передачи данных с наилучшими усилиями. Абоненту необходимо знать CoS при передаче своих данных с наилучшими усилиями. В следующих пунктах представлены методы, с помощью которых осуществляется определение CoS и его транслирование абоненту.

РИСУНОК 2  
Модель самолета



### 2.2.2 Определение приоритета

Существуют несколько способов определения CoS при передаче данных с наилучшими усилиями между базовой станцией и абонентской станцией. Деловые или элитные пользователи могут иметь более высокий приоритет при передаче данных с наилучшими усилиями, чем другие. В этом случае для определения CoS абонента используется механизм аутентификации. Базовая станция может управлять полосой пропускания, распределенной абоненту, который занимает ресурсы системы, передавая или принимая большой объем данных. Для защиты ресурсов систем от жадных пользователей базовая станция может изменять CoS на более низкий класс в отношении таких пользователей. В этом случае базовая станция проверяет объем переданных и/или принятых каждым пользователем данных и изменяет CoS на основе объема данных или определенного порога.

В обоих случаях роль базовой станции состоит в определении CoS абонента. В первом случае базовая станция может запрашивать сервер аутентификации или может осуществлять проверку по внутренней базе данных. В последнем случае базовая станция может управлять CoS, предоставляемым каждому абоненту.

### 2.2.3 Уведомление о CoS, направляемое абонентам

Для управления CoS как в прямом, так и в обратном направлениях, базовой станции необходимо уведомлять каждого абонента о CoS. С этой целью используется исходящая или входящая сигнализация.

При использовании схемы исходящей сигнализации базовая станция направляет каждому абоненту информацию о классе обслуживания до того, как происходит передача данных. В этом случае базовая станция должна также уведомлять абонента о любых изменениях его CoS.

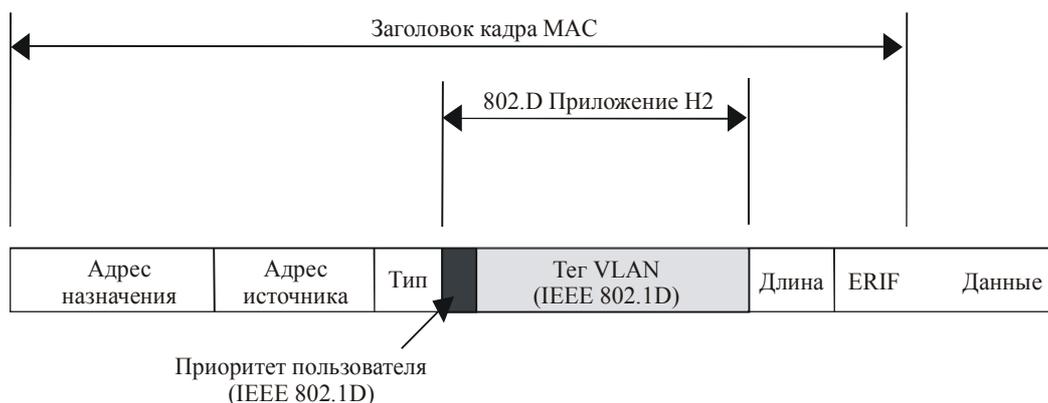
Другой вариант представляет собой схему входящей сигнализации, при которой базовая станция направляет определенную информацию о CoS вместе с данными путем использования механизма, который аналогичен примененному в стандарте IEEE 802.1D (Приложение H2), как показано на рис. 3. Базовая станция устанавливает приоритет кадра в заголовке кадра. Поскольку приоритет связан с CoS, абонент может узнать о CoS из информации о приоритете.

Как показано на рис. 4, абонент устанавливает такую же информацию о приоритете в самом последнем принимаемом кадре данных.

Определенный CoS должен учитываться в методе управления доступом. Несмотря на то, что существует множество методов случайного доступа, они в своем большинстве не обеспечивают такой функциональной возможности. Метод на основе CSMA/CA был предложен для обеспечения передачи с приоритетом.

Схема управления приоритетом с использованием схемы входящей сигнализации представляется реалистичным решением для осуществления управления CoS в системах FWA, поскольку для нее не требуется слишком широкая полоса частот, по сравнению со схемой исходящей сигнализации.

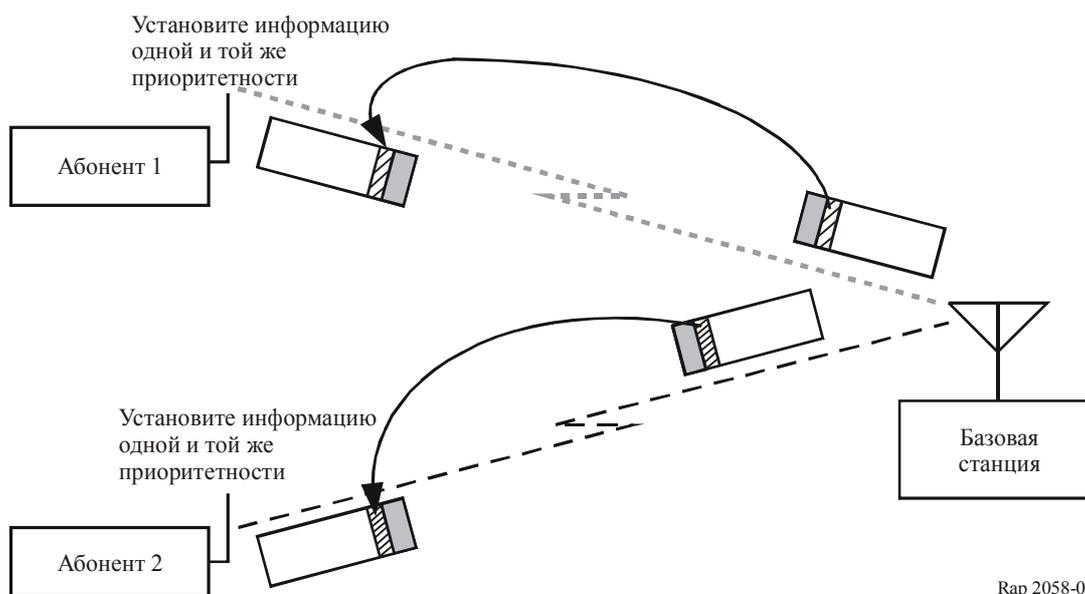
РИСУНОК 3  
Управление приоритетом с тегированием кадров



ERIF: встроенное информационное поле маршрутизации

Rap 2058-03

РИСУНОК 4  
Уведомление о CoS с помощью схемы сигнализации



Rap 2058-04

## 2.3 Результат управления CoS

### 2.3.1 Справедливый доступ

Одной полезной особенностью управления CoS является предотвращение занятия пользователем ограниченной полосы частот беспроводного канала и обеспечение справедливого доступа для всех абонентов. Путем снижения класса обслуживания по отношению к обычному классу с наилучшими усилиями добиваются того, что класс обслуживания абонента, единолично потребляющего большую часть частотного ресурса, будет принудительно понижен.

Оператор может узнавать о деятельности каждого пользователя путем проверки объема передаваемых данных. Существуют несколько способов проверки объема передаваемых каждым абонентом данных. Например, для распознавания интенсивного пользователя может быть достаточным IP-адрес. Конечно, оператор может более подробно контролировать поток трафика.

Поставщик услуг должен располагать механизмом стратегического управления для защиты ресурсов системы от пользователя, который намеренно занимает их сверх меры.

### 2.3.2 Сквозное управление CoS

Для того чтобы обеспечить сквозное управление CoS, базовым станциям FWA и/или их верхним маршрутизаторам необходимо располагать функциями обработки CoS и, по возможности, абонентские терминалы также должны обладать соответствующей функциональной возможностью. Осуществимость управления CoS зависит от имеющейся ширины полосы частот. Для удовлетворения различных пользовательских требований абонентов системе необходима гораздо большая полоса пропускания, чем требуется для предоставления обычных услуг с наилучшими усилиями. Несмотря на то, что полоса пропускания ограничена, а радиоствол не так надежен, определенный уровень управления CoS будет все же обеспечен.

## 3 Механизмы управления организацией очереди и приоритетом для обеспечения управления CoS в системах FWA

### 3.1 Введение

В настоящем пункте представляются механизмы организации очереди и схема управления приоритетом, которые поддерживают управление CoS в системах FWA. Механизм организации очереди, который обеспечивает управление приоритетом и/или справедливые передачи данных, будет использоваться для осуществления дифференциации обслуживания в соответствии с классами обслуживания. Кратко описываются некоторые виды механизмов организации очереди по приоритету. Кроме того, предлагается схема управления приоритетом для осуществления справедливой передачи данных путем использования механизма управления CoS.

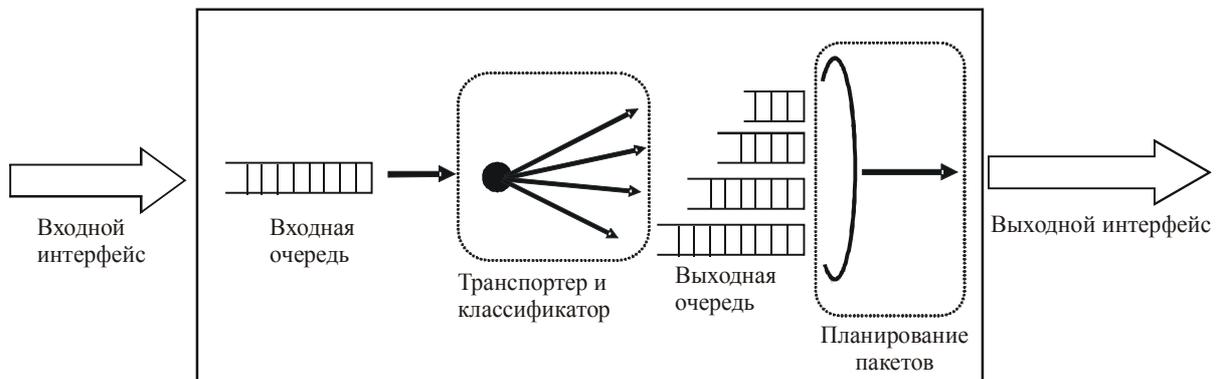
### 3.2 Механизмы организации очереди для систем FWA

Управление CoS – это механизм обеспечения качества связи при каждой передаче данных в соответствии с ее классом обслуживания. Управление CoS обеспечивается в случае, когда все узлы между оконечными системами обладают функцией осуществления дифференциации в соответствии с классом обслуживания. Базовым механизмом, используемым с этой целью, является организация очереди.

Организация очереди может рассматриваться как операция буферизации для изменения порядка следования IP-пакетов и играет весьма важную роль в узлах продвижения данных. Эта операция выполняется, когда какой-либо узел ретранслирует пакет из входной очереди того или иного интерфейса в выходную очередь другого интерфейса, как показано на рис. 5. При таком процессе классификация пакетов и планирование пакетов выходной очереди играют очень важную роль при обеспечении управления CoS. В настоящем пункте рассматриваются методы организации выходной очереди, то есть методы планирования пакетов, и кратко представляются некоторые базовые механизмы.

РИСУНОК 5

Организация очереди и планирование пакетов в узле продвижения данных



### 3.2.1 Организация очереди по принципу "первым пришел – первым обслужен" (FIFO)

Организация очереди по принципу FIFO – это стандартный метод, применяемый при переносе IP-пакета от входного интерфейса к выходному интерфейсу с промежуточной буферизацией. В случае организации очереди по принципу FIFO входные пакеты ставятся в очередь в порядке прихода и направляются в выходной интерфейс в том же порядке.

Организация очереди по принципу FIFO является наиболее распространенным механизмом, и многие производители внедряют его в свои продукты. Несмотря на то, что организация очереди по принципу FIFO является простым и быстрым механизмом, он страдает задержкой организации очереди при увеличении интенсивности трафика. Кроме того, он не может осуществлять дифференциацию обслуживания, что затрудняет обеспечение функций управления CoS.

### 3.2.2 Организация очереди по приоритету

В случае организации очереди по приоритету пакеты с высоким приоритетом всегда обрабатываются раньше других пакетов. Распознавание типа трафика и постановка высокоприоритетного пакета в начале выходной очереди обеспечивает организацию очереди по приоритету. Может использоваться несколько выходных очередей, соответствующих обеспечиваемым классам трафика. При организации очереди по приоритету пришедшие пакеты ставятся в выходную очередь в соответствии с определенным порядком. Поэтому пакеты с более высоким приоритетом передаются раньше пакетов с более низким приоритетом.

### 3.2.3 Организация очереди на базе классов (CBQ)

В случае CBQ трафик в сети подразделяется на несколько классов, которые определяются оператором сети, для осуществления различных операций по передаче, в соответствии с типами трафика. Пакет продвигается в соответствии с классом его трафика. Узлы продвижения данных имеют выходные очереди для каждого класса трафика, и оператор может планировать исходящий трафик для каждой очереди. В отличие от организации очереди по приоритету, CBQ предоставляет каждому пакету возможность быть переданным в соответствии с отнесенным к определенной категории уровнем передачи.

### 3.2.4 Взвешенная справедливая очередь (WFQ)

WFQ – это комбинированный механизм организации очереди по приоритету и организации справедливой очереди. Он реализует справедливую передачу данных с учетом приоритета и объема трафика для каждого класса трафика.

## 3.3 Схемы управления CoS на уровне 3 и выше

Для обеспечения управления CoS между конечными пользователями были предложены некоторые механизмы, которые работают на уровне IP. Эти схемы эффективны для обеспечения сквозного контроля CoS. Если базовые станции FWA или маршрутизаторы в системе обеспечивают эту функциональную возможность, то могут предоставляться различные мультимедийные услуги. Существующие методы управления CoS для уровней 2 и 3 или выше представлены в таблице 2.

ТАБЛИЦА 2

Существующие методы управления CoS

Уровень	Метод		Стандартизация
Уровень 2	Приложение H2 к стандарту IEEE 802.1D	Тегирование по Приложению H2 к стандарту IEEE 802.1D	Комитет IEEE 802
Уровень 3–4	MPLS	Коммутация с использованием меток	IETF
	DiffServ	Использование поля DS (поле ToS IP)	IETF
	RSVP	Сигнализация RSVP	IETF

### 3.3.1 Многопротокольная коммутация с использованием меток (MPLS)

Метод коммутации с использованием меток применяется для высокоскоростного продвижения пакетов. Метка, которая может быть направлена с уровня линии передачи данных, присваивается потоку данных с тем, чтобы отличить его от других потоков. Маршрутизаторы LSR используются в случае MPLS, при которой продвижение пакетов выполняется не с помощью уровня 3, а посредством уровня 2, проверяющего наличие метки в заголовке кадра пакетов. Следовательно, предоставляется возможность осуществления высокоскоростной коммутации пакетов, поскольку нет необходимости проводить анализ IP-заголовков, за исключением первого пакета.

При присвоении метки передаче данных этой передаче может быть также присвоено качество обслуживания. Распространение метки передачи данных другим маршрутизаторам LSR осуществляется с помощью протокола LDP. В этот момент распространяется также информация о классе обслуживания, а CoS обеспечивается с помощью маршрутизаторов LSR. Для обеспечения сквозного управления CoS крайний маршрутизатор LSR, который соединяет обычный маршрутизатор и другие LSR, должен также поддерживать модель DiffServ.

### 3.3.2 Дифференцированные услуги (DiffServ)

В случае модели DiffServ уровни обслуживания отличаются полем ToS в заголовке IP-пакета. Поле ToS не используется в IPv4, и значение этого поля заново определяется в модели DiffServ. В домене DS, который составляют узлы с DS, обеспечивается управление трафиком на основе стратегии или правила. Работа узлов DS, например способ продвижения пакетов каждого потока данных конкретного CoS, определяется PHB.

При передаче данных через домены DS с конкретным качеством обслуживания серверы, определяющие стратегию этих доменов DS, проводят взаимное согласование. Если SLA достигнуто, то диспетчер полосы пропускания запрашивает необходимую полосу пропускания для передачи данных.

### 3.3.3 Управление сетью на основе стратегии обеспечения CoS

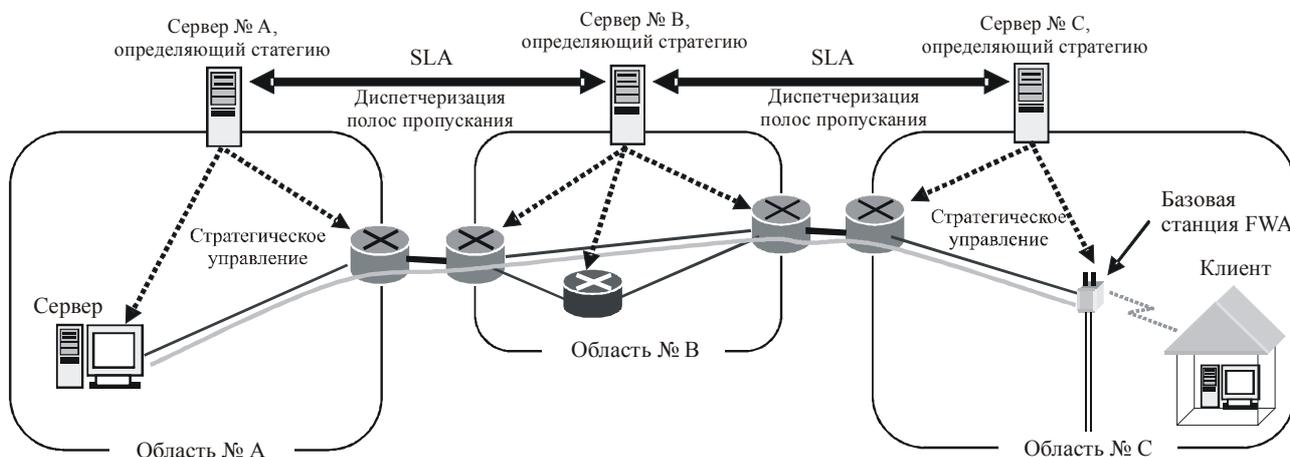
Управление сетью на основе стратегии или правил необходимо для определения приоритета передачи данных в соответствии с требованием абонента или для проверки приоритета абонента. Для управления ресурсами сети или приоритетом абонентов будет использоваться контроллер стратегии и контроллер доступа.

Если применяется управление сетью на основе стратегии, то в системах FWA желательно использовать механизм централизованного управления доступом в протоколе уровня 2. Несмотря на то, что случайный доступ, как например CSMA или его разновидности, может быть достаточным для предоставления услуг с наилучшими усилиями, для распространения и обеспечения определенного CoS потока данных будет необходимо использовать механизмы централизованного управления, как например протокол на основе опроса.

Пример представлен на рис. 6.

РИСУНОК 6

Сеть на основе стратегии



### 3.3.4 Механизм управления CoS в системах FWA

Могут быть рассмотрены некоторые стратегии для внедрения механизма управления CoS в системах FWA, в соответствии с функциональными возможностями базовой станции FWA. В принципе, уровень MAC будет обладать функциональной возможностью управления CoS в отношении потока данных в беспроводной области, поскольку процедура доступа определяется на этом уровне.

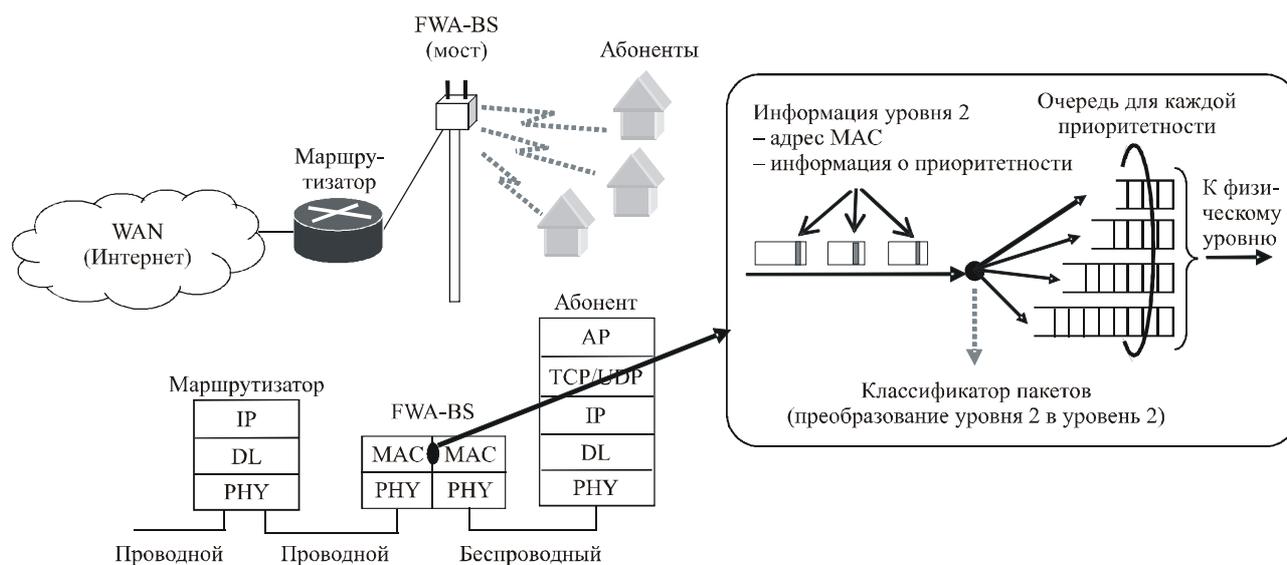
#### 3.3.4.1 Если базовая станция FWA является мостом

Если базовая станция FWA работает в качестве моста, как показано на рис. 7, то непосредственным способом реализации CoS является некоторая очередь, соответствующая каждому классу обслуживания. На основе информации о приоритете, содержащейся в заголовке кадра MAC, базовая станция оценивает приоритет кадра и соответственно ставит его в очередь. Если базовая станция ретранслирует кадр из проводной области в беспроводную или наоборот, то может потребоваться преобразование протокола, и вышеуказанная операция будет выполнена в этом процессе. При передаче кадра, содержащегося в буфере, базовая станция берет кадр из буфера в соответствии с определенным алгоритмом, а затем направляет его в канал. Методами обеспечения CoS могут быть методы организации очереди и управления приоритетом.

Другие подходы к реализации CoS будут исследованы в дальнейшем.

РИСУНОК 7

Базовая станция (BS) FWA с функцией моста



BS: базовая станция

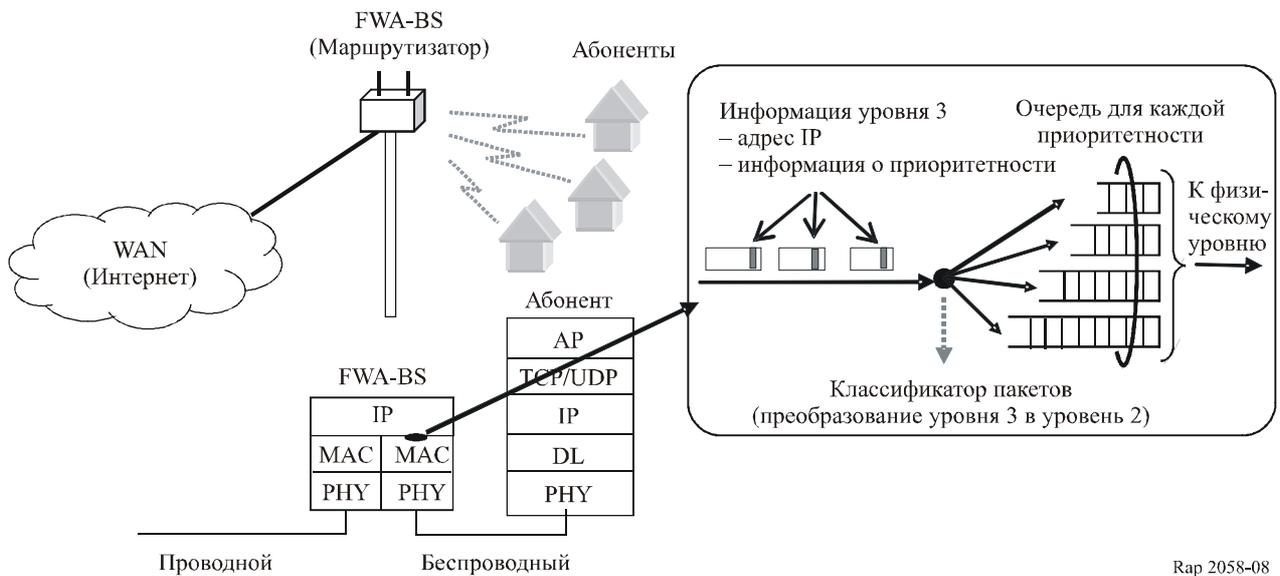
Rap 2058-07

#### 3.3.4.2 Если базовая станция FWA является маршрутизатором

Если базовая станция FWA работает в качестве маршрутизатора, то пример того, как обеспечивается управление CoS, приводится на рис. 8. В этом случае базовая станция должна обрабатывать информацию о приоритете различных уровней, т.е. уровня 3 и уровня 2. Во многих схемах применяется метод входящей сигнализации с тем, чтобы различать пакеты с высоким приоритетом от обычных пакетов, передаваемых с наилучшими усилиями. В данном случае информация о приоритете записана в заголовке пакета. Предполагается, что базовая станция FWA обладает функцией организации очереди по приоритету на уровне MAC, и что выполнено отображение класса обслуживания на уровень 3 и приоритета – на уровень 2.

РИСУНОК 8

## Базовая станция (BS) FWA с функцией маршрутизатора



Rap 2058-08

### 3.3.4.3 Абонентские терминалы

Для абонентского терминала системы FWA потребуются некоторые механизмы управления CoS.

При получении кадра данных уровень MAC абонентского терминала должен понять информацию о приоритете, содержащуюся в кадре, и передать ее на верхний уровень. Если абонент желает направить данные с высоким приоритетом, то уровень MAC терминала должен установить информацию о приоритете кадра.

Если абонентский терминал является источником данных с высоким приоритетом, то возможно, потребуется функциональная возможность проведения согласования с сервером стратегии, маршрутизатором или базовой станцией с целью резервирования полосы пропускания для данных.

## 4 Механизм управления CoS систем FWA с использованием схемы распределенного управления

### 4.1 Расширение протокола CSMA/CA для обеспечения управления CoS

Методы, основанные на CSMA, широко используются в качестве распределенного механизма MAC в среде ЛВС. В беспроводной системе ЛВС стандарта IEEE 802.11 в качестве базового метода доступа применяется протокол CSMA/CA. Этот протокол обеспечивает станциям равную возможность для передачи данных, а приоритет данных не учитывается. Для обеспечения управления CoS протокол CSMA/CA должен быть изменен в целях осуществления дифференциации обслуживания, при которой учитывается приоритет передаваемых данных. Приоритет данных устанавливается путем изменения процедуры отсрочки протокола CSMA/CA. Краткое пояснение в отношении исходного и измененного протоколов CSMA/CA приводится в следующем разделе.

### 4.2 Исходный протокол CSMA/CA

В случае использования протокола CSMA/CA базовая станция и абоненты постоянно зондируют канал для получения информации о его доступности. Канал считается незанятым, если станция не обнаруживает какой-либо сигнал в течение конкретного интервала времени, называемого DIFS.

Когда данные поступают на станцию, она начинает их немедленную передачу, если зондированный канал не занят. Если в момент поступления данных канал занят, то для недопущения конфликтов станция выполняет процедуру отсрочки, как только канал становится свободным. При проведении процедуры отсрочки станция, готовая к передаче данных, вводит случайное время отсрочки до

передачи путем создания случайного числа  $N$  из определенного диапазона. Затем станция начинает снижать время отсрочки. Случайное число уменьшается в каждый период, называемый "длительностью слота". Станция начинает передачу кадра, если ее время отсрочки становится равным 0. В случае если канал становится занятым снова до того, как число достигнет нуля, станция останавливает уменьшение времени отсрочки и ожидает освобождения канала. Когда канал снова становится незанятым, станция вновь начинает уменьшать баланс времени отсрочки.

Какая-либо станция, которая правильно принимает кадр данных, возвращает отправителю подтверждение АСК в течение конкретного периода, называемого SIFS. Если отправитель не получает АСК в течение определенного времени, он выполняет повторную передачу предыдущего кадра данных.

### 4.3 Измененный протокол CSMA/CA для дифференциации обслуживания

При использовании измененного протокола CSMA/CA предполагается, что базовая станция имеет, по крайней мере, две очереди для трафика с наилучшими усилиями. Каждая очередь имеет свой собственный приоритет для передачи данных, а приоритет соответствует классу обслуживания. Алгоритм измененного CSMA/CA описывается в предположении наличия двух классов обслуживания при передачах с наилучшими усилиями. Класс обслуживания, который имеет более высокий приоритет передачи данных, называется классом высокого приоритета, а класс обслуживания с низким приоритетом называется классом низкого приоритета.

Для осуществления дифференциации обслуживания алгоритм отсрочки протокола CSMA/CA изменяют, как показано на рис. 9. В измененном протоколе CSMA/CA станции используют различные длительности слотов в соответствии с классом обслуживания. На рис. 9 обмен данными между базовой станцией и абонентом 1 выполняется в классе высокого приоритета, а значение длительности слота этих станций, используемое в алгоритме отсрочки, устанавливается равным  $T_A$ . Аналогично осуществляются обмены данными между базовой станцией и абонентом 2 в классе низкого приоритета, а значение длительности слота устанавливается на  $T_B$ . На рис. 9  $T_A$  меньше  $T_B$ . Благодаря использованию различных значений длительности слота данные с высоким приоритетом имеют тенденцию к более частой отправке, чем данные с низким приоритетом. Поэтому приоритет класса обслуживания отражается на числе попыток передачи на класс обслуживания.

Базовая станция имеет две очереди на передачу, соответствующие классу обслуживания данных. Она независимо выполняет процедуру CSMA/CA для каждой очереди на передачу. Станция абонента передает данные в своем классе обслуживания определяемом базовой станцией. В результате достигается дифференциация обслуживания в соответствии с классом обслуживания.

### 4.4 Управление CoS на основе EDCF в системе FWA

#### 4.4.1 Традиционная DCF

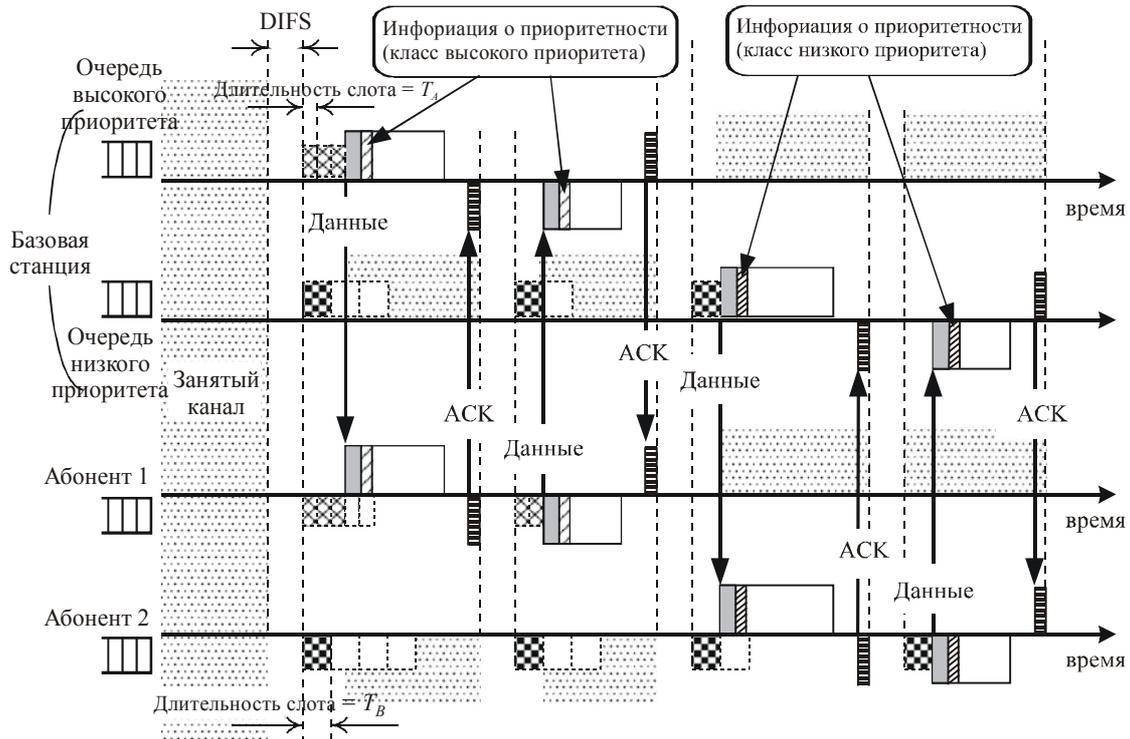
Базовой процедурой доступа к каналу в беспроводных системах стандарта IEEE 802.11 является DCF (распределенная функция координации), известная как CSMA/CA (см. рис. 10). Протокол CSMA/CA обеспечивает равную возможность для передачи данных станциям, готовым к ней, а приоритет данных не учитывается. В протоколе CSMA/CA передача кадров осуществляется распределенным образом.

Станция, готовая к передаче данных, зондирует канал перед передачей. Канал считается незанятым, если не обнаружено несущей за время, превышающее время зондирования несущей DIFS. Станция немедленно начинает передачу, если канал свободен. В противном случае станция выполняет процедуру отсрочки, как только канал становится незанятым и создает случайное число для таймера отсрочки. Если канал продолжает быть незанятым, то станция уменьшает таймер отсрочки на конкретных интервалах, называемых "длительностью слота", в пределах CW, и передает данные, когда значение таймера отсрочки достигает 0.

Какая-либо станция, которая успешно принимает кадр, возвращает отправителю АСК в течение времени SIFS после приема. Отправитель кадров данных повторно направляет кадр, если АСК не возвращается за конкретное время.

РИСУНОК 9

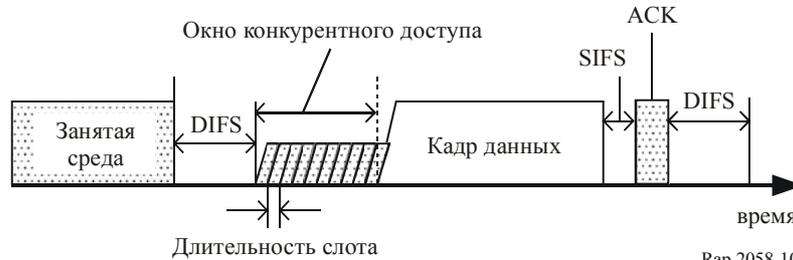
## Дифференциация обслуживания с использованием CSMA/CA с передачей по приоритетам



Rap 2058-09

РИСУНОК 10

## Пример канала IEEE 802.11

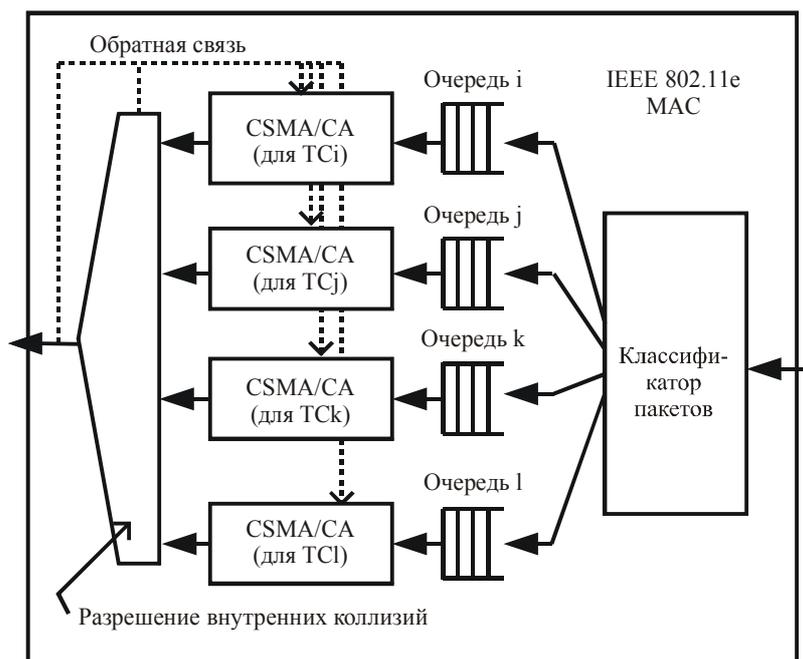


Rap 2058-10

## 4.4.2 Улучшенная распределенная функция координации (EDCF)

EDCF является измененным механизмом CSMA/CA. В случае EDCF кадры данных подразделяются не более чем на восемь TC, при этом число категорий трафика (TC) соответствует числу TC, определенному в Приложении Н к IEEE 802.1D. На рис. 11 показана структура уровня MAC IEEE 802.11TGe. Станции с EDCF имеют не более восьми выходных очередей – одну на каждую TC. Если станция с EDCF начинает передавать кадр данных, то несколько выходных очередей конкурируют друг с другом за возможность передавать кадр данных с использованием процедуры EDCF. Протокол EDCF обеспечивает дифференцированный доступ CSMA/CA к беспроводной среде для выходных очередей с приоритетом и осуществляет дифференциацию обслуживания с учетом приоритета кадра данных. При EDCF эта дифференциация обслуживания реализуется путем использования двух методов управления приоритетом, описанных ниже.

РИСУНОК 11  
Уровень MAC IEEE 802.11e



Рар 2058-11

#### 4.4.3 Алгоритм отсрочки

Процедура отсрочки основана на бинарном алгоритме отсрочки. Время отсрочки равно длительности слота, умноженной на случайное число. В случае процедуры отсрочки станция создает случайное число из равномерного распределения в пределах от 0 до  $CW$ . Каждый раз, когда станция повторно передает кадр, значение  $CW$  последовательно увеличивает целые мощности на 2–1 пока  $CW$  не достигнет значения  $CW_{max}$ . Как только  $CW$  достигает значения  $CW_{max}$ ,  $CW$  сохраняет значение  $CW_{max}$  до его сброса.

В случае процедуры EDCF станция рассчитывает и сохраняет  $CW$  для каждой очереди с приоритетом, то есть для очереди  $i$ :  $0 \sim CW_i$ , для очереди  $j$ :  $0 \sim CW_j$ . Если приоритет очереди  $i$  выше приоритета очереди  $j$ , то  $CW_i$  устанавливается на меньшую величину, чем  $CW_j$ . Благодаря использованию данной процедуры реализуется дифференциация обслуживания.

#### 4.4.4 Арбитражный межкадровый интервал (AIFS)

В случае традиционной процедуры CSMA/CA канал считается незанятым, если несущая не обнаруживается в течение времени большего DIFS. В процедуре EDCF вместо DIFS используется AIFS, как показано на рис. 12. Если приоритет очереди  $i$  выше приоритета очереди  $j$ , то  $AIFS[i]$  будет короче  $AIFS[j]$ . Благодаря использованию этой процедуры реализуется управление приоритетом для нескольких КТ.

#### 4.5 Пример класса обслуживания (CoS) (Приложение H2 к IEEE 802.1D)

В Приложении H2 к стандарту IEEE 802.1D для систем на основе Ethernet рассматривается восемь уровней качества обслуживания, и каждый уровень отображается на приоритет пользователя. Информация о приоритете пользователя содержится в поле расширенного заголовка кадра MAC. В этой схеме поддерживаются как CoS с приоритетом, так и параметризованный CoS. Как следует из таблицы 3, приоритеты пользователей 4, 5 и 6 являются параметризованными CoS, а другие приоритеты – CoS с приоритетом.

РИСУНОК 12

## Механизм управления приоритетом с использованием AIFS

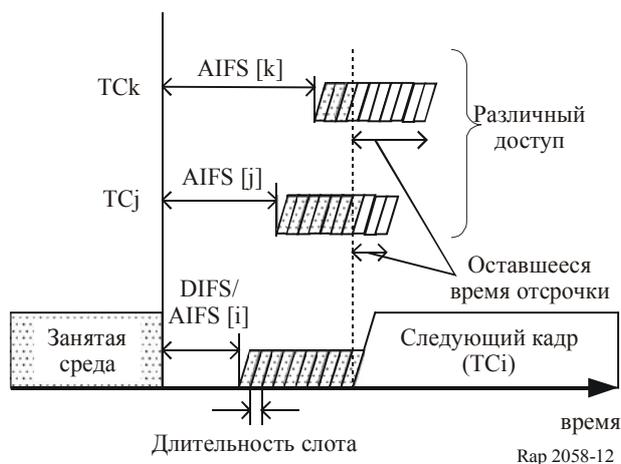


ТАБЛИЦА 3

## Приоритет пользователя и категории трафика в сетях ЛВС IEEE 802

Приоритет пользователя	Тип трафика	Описание
1	Фоновый (Ф)	Массовые передачи и другая работа, разрешенная на сети, которая не воздействует на использование сети другими пользователями и приложениями
2	Резервный	
0 (по умолчанию)	Наилучшие усилия (BE)	Как нам известно, в настоящее время - это трафик ЛВС
3	Максимальные усилия (EE)	Услуги типа услуг с наилучшими усилиями, которые организация, занятая предоставлением информационных услуг, будет доставлять своим наиболее важным клиентам
4	Контролируемая нагрузка (CL)	Важные деловые приложения, соответствующие некоторой форме "контроля за доступом", для которых осуществляется предварительное планирование потребности в сети на одном конце в отношении резервирования полосы пропускания на поток в момент появления потока на другом конце
5	Видео (VI)	Задержка менее 100 мс
6	Голос (VO)	Задержка менее 10 мс и, следовательно, максимальное дрожание. (Симплексная передача)
7	Управление сетью (NC)	Для сохранения и поддержания инфраструктуры сети

Многие существующие на рынке продукты поддерживают данный механизм путем использования механизма организации очереди с приоритетом, например взвешенной справедливой очереди (WFQ) взвешенного кругового обслуживания (WRR).

В Приложении H2 к стандарту IEEE 802.1D имеется ссылка на механизм отображения между типами трафика и классами трафика в зависимости от числа очередей, имеющих в устройстве. В таблице 4 представлена схема отображения в этом стандарте.

ТАБЛИЦА 4

## Отображение типа трафика на класс трафика

Число очередей	Типы трафика
1	{BK, BE, EE, CL, VI, VO, NC}
2	{BK, BE, EE}, {CL, VI, VO, NC}
3	{BK, BE, EE}, {CL, VI}, {VO, NC}
4	{BK}, {BE, EE}, {CL, VI}, {VO, NC}
5	{BK}, {BE, EE}, {CL}, {VI}, {VO, NC}
6	{BK}, {BE}, {EE}, {CL}, {VI}, {VO, NC}
7	{BK}, {BE}, {EE}, {CL}, {VI}, {VO}, {NC}

## 5 Механизм для систем FWA, в которых используется схема фиксированного беспроводного доступа

### 5.1 Введение

В последнее время управление QoS было ключевой технологией обеспечения мультимедийного трафика в IP-сетях. С помощью QoS та или иная система может обеспечить различные уровни качества связи в зависимости от требования пользователя. Для достижения QoS системе необходимы такие комплексные механизмы, как резервирование/распределение полосы пропускания, контроль за допуском, стратегическое управление и функция диспетчера пропускной способности.

Централизованная система пригодна для достижения QoS. В ней имеется функция планирования для назначения полосы частот на базовой станции.

Полоса частот назначается в соответствии с такими применениями, как телефон, электронная почта, видео и т. д. Поскольку предъявляемые ими требования к полосе пропускания и задержке различны, базовая станция готовит три класса QoS. В п. 5.2 приводится пример спецификации класса QoS в беспроводных системах. Далее в п. 5.3 представляется функция планирования для назначения полосы пропускания на базовой станции.

### 5.2 Пример класса QoS в беспроводной системе

В таблице 5 приведен пример класса QoS в беспроводной системе с использованием схемы централизованного управления.

ТАБЛИЦА 5

#### Пример класса QoS беспроводной системы с использованием схемы централизованного управления

Класс КО	CBR/GBR/UBR	ARQ	Пример услуги
1	GBR или UBR	с	Электронная почта, FTP
2	CBR	с	Изображение
3	CBR	без	Телефон, передача изображения в реальном времени

Класс 1 обеспечивает обслуживание с гарантированной скоростью передачи данных (GBR) или нерегламентированной скоростью передачи данных (UBR), при котором абонентской станции обеспечивается минимальная присвоенная полоса пропускания и сохраняется тип связи с наилучшими усилиями. Этот класс обеспечивает наличие определенной минимальной пропускной способности даже несмотря на возможное объединение трафика многих пользователей.

Классы 2 и 3 обеспечивают обслуживание с CBR по заявлению пользователя. Они пригодны для приема сигналов услуг формирования изображений в реальном времени. Класс 3 не использует ARQ в попытке сделать минимальной задержку при передаче данных.

### 5.3 Расчет эффективной полосы пропускания для различных услуг

Поскольку различные услуги отличаются по своей природе, соответствующей различной потребности в полосе пропускания, система должна быть готова различать разные классы обслуживания и должна принимать решение в отношении методов присвоения полосы пропускания для каждой услуги. Такой метод достижения этой цели подробно поясняется ниже. Во-первых, услуги должны быть классифицированы по нескольким видам в соответствии с их атрибутами, такими как требование к задержке или требование к приоритету. Во-вторых, для каждого вида услуги будет применяться одно соответствующее уравнение для расчета относящейся к ней эффективной полосы пропускания, косвенно выражающей требование услуг к QoS. Наконец, система присвоит получающуюся в результате пропускную способность услуге каждого вида. Таким образом, можно было бы достигнуть QoS услуг в централизованной системе FWA.

Одной из типичных характеристик трафика передачи пакетных данных является "прерывистость" трафика, а эффективная полоса пропускания здесь определяется для установления характеристик общего объема ресурсов, используемых трафиком пакетных данных. Кроме того, необходимо также определить среднюю пропускную способность и максимальную пропускную способность. Поскольку передаются данные, относящиеся к услуге определенного вида, система должна динамически корректировать полосу пропускания передачи, а затем оценивать ее качество путем получения таких параметров, как задержка, BER и т. д. Одним из критериев для получения средней полосы пропускания должно быть субъективное мнение пользователя. Если принимаемые данные просто приемлемы, то требуемая в этот момент пропускная способность равна средней пропускной способности. Если не может быть достигнуто значительное улучшение показателей работы при увеличении пропускной способности, то соответствующая пропускная способность является максимальной.

"Прерывистый" характер пакетных данных может приводить к возможным потерям в течение временных перегрузок. Поэтому базовая станция должна резервировать как можно больше ресурсов для достижения наилучших показателей работы. С другой стороны, операторы должны быть заинтересованы в эффективном использовании имеющихся ресурсов и не должны допускать распределения одному пользователю слишком широкой полосы. С целью более эффективного использования ресурса в нижеследующем материале предложен метод расчета эффективной полосы пропускания и разъясняются четыре вида услуг.

#### Разговорная услуга

Основными качественными показателями этого класса являются малая задержка, слабое дрожание (изменение задержки), приемлемая чистота и отсутствие эха. В случае мультимедийных приложений необходимо также сохранять относительную синхронизацию различных медиа-поточков.

Являясь службой с постоянной скоростью передачи (CBR), ее максимальная пропускная способность та же, что и средняя пропускная способность, и ее эффективная ширина полосы должна рассчитываться согласно следующему уравнению:

$$Bandwidth_{effective} = Th_{average} + \varphi * (TH_{max} - TH_{average}) \quad (1)$$

где:

- $Bandwidth_{effective}$ : эффективная ширина полосы службы
- $Th_{average}$ : средняя ширина полосы службы
- $TH_{max}$ : максимальная ширина полосы службы

Параметр  $\varphi$ , от 0 до 1, связан с предъявляемыми требованиями касательно задержки услуги и определяется оператором. Чем меньше допустимое время задержки (договорное значение) или более частая передача пакетов трафика, тем большая величина  $\varphi$  должна быть выбрана

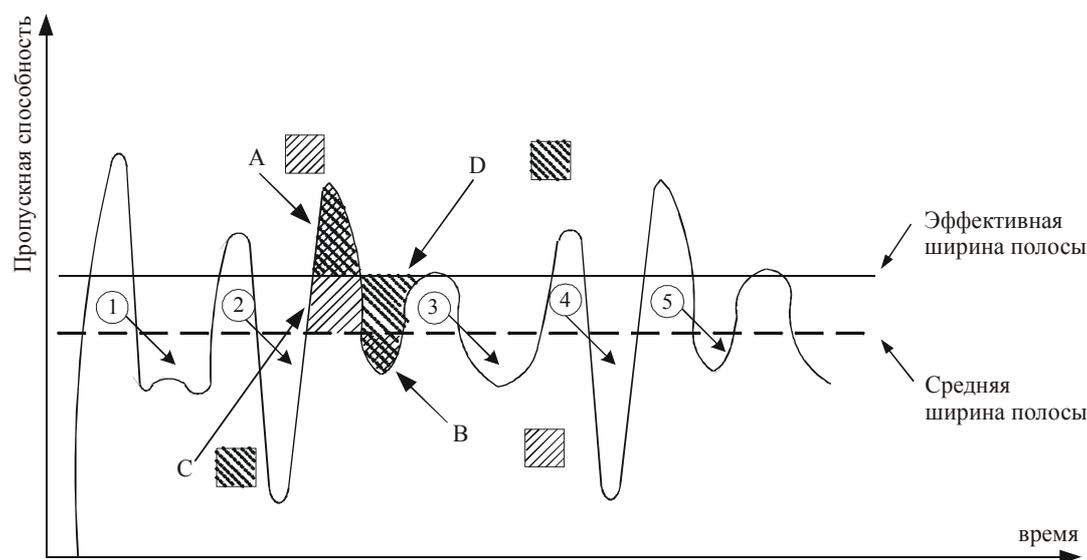
(означающая, что требуется больший объем резервных ресурсов) и более высокая надежность QoS может быть получена. Иными словами, высокая надежность достигается сокращением числа пользователей, имеющих доступ в одно и то же время. Конечно, если требуемая средняя пропускная способность равна максимальной, то  $\phi$  больше не используется как в разговорной услуге, и уравнение (1) можно упростить до уравнения (2)

$$Bandwidth_{effective} = Th_{average} = TH_{max} \quad (2)$$

Далее обсуждается вопрос о том, каким образом выбрать правильное значение для  $\phi$ . Как показано на рис. 13, трафик пакетных данных характеризуется прерывистостью и степенью случайности. Если средняя пропускная способность устанавливается по уровню эффективной ширины полосы, основная часть данных может передаваться в течение достаточно небольшого интервала времени, даже если переходная скорость выше эффективной ширины полосы. Однако пик 1 и пик 5 могут быть не отправлены во время (и будут вызывать перегрузку) или же быть отвергнуты, что может повлиять на эксплуатационные характеристики системы. Следовательно, в этом случае для услуг с частой передачей пакетов или для высокоприоритетных услуг должна выбираться эффективная ширина полосы, превышающая среднюю.

РИСУНОК 13

### Эффективная ширина полосы и средняя ширина полосы



Rap 2058-13

### Потоковая услуга

Класс потоковых услуг состоит из приложений в реальном масштабе времени, которые передают информацию зрителю или слушателю, но без какой-либо ответной реакции со стороны пользователя. Примерами такого класса услуг являются "видео по запросу", потоки новостей и многоадресные передачи.

Из-за отсутствия интерактивной составляющей больше нет жесткой потребности в небольших задержках, но остаются требования к низким уровням дрожания и синхронизации медийных средств. В отличие от голосовой услуги, потоковая услуга не ограничена постоянной скоростью передачи данных, и ее максимальная пропускная способность обычно превышает среднюю пропускную способность. Эффективная ширина полосы потоковой услуги должна рассчитываться согласно следующему уравнению:

$$Bandwidth_{effective} = Th_{average} + \phi * (TH_{max} - Th_{average}) \quad (3)$$

Параметры в уравнении (3) определяются так же, как в уравнении (1). Скорость передачи данных для услуги такого рода не изменяется в значительных пределах, поэтому значение  $\phi$  можно определить преимущественно исходя из класса приоритетности.

Для различных значений  $\varphi$  уравнение (3) можно упростить как

$$Bandwidth_{effective} = Th_{average} \quad \text{для } \varphi = 0 \quad (4)$$

$$Th_{average} < Bandwidth_{effective} < TH_{max} \quad \text{для } 0 < \varphi < 1 \quad (5)$$

$$Bandwidth_{effective} = TH_{max} \quad \text{для } \varphi = 1 \quad (6)$$

### Интерактивная услуга

Этот класс включает большое разнообразие услуг, которые могут существенно отличаться друг от друга по требованиям к пропускной способности и к задержкам, таких как некоторые игры, опрос в рамках системы управления сетью для получения статистики, и людей, активно пользующихся системами навигации и просмотра информации, или ведущими поиск соответствующих баз данных. Что касается требований к задержкам, то они должны иметь разумные пределы, отвечающие деятельности человека, но не быть такими строгими как для разговорного класса.

Следовательно, резервирование однородной ширины полосы для всех видов интерактивных услуг приведет в результате к малоэффективному использованию ресурсов радиоспектра. Поэтому при расчете эффективной ширины полосы должны учитываться дополнительные факторы, такие как класс приоритетности, класс надежности, а также прерывистость при передаче данных. Тогда эффективную ширину полосы интерактивных услуг можно будет оценить согласно следующему уравнению.

$$Bandwidth_{effective} = \theta_1 * \theta_2 * Th_{average} + \theta_1 * \theta_2 * \varphi * (TH_{max} - TH_{average}), \quad (7)$$

где  $\theta_1$ , от 0 до 1, – это параметр, основанный на классе приоритетности, и  $\theta_2$ , от 0 до 1, – это параметр, основанный на классе надежности. Эти два значения должны выбираться оператором.

### Фоновая услуга

Фоновые услуги охватывают все приложения, которые либо осуществляют пассивный прием данных, либо активно их запрашивают, но без каких-либо неотложных потребностей в обработке данных. Примерами таких услуг являются электронная почта и пересылка файлов.

Фоновые услуги нечувствительны к задержкам, поэтому некоторые уровни средней пропускной способности или эффективной ширины полосы,  $R_i$ , могут быть установлены согласно ресурсным возможностям системы фиксированного беспроводного доступа (FWA), и тогда эффективная ширина полосы определенной услуги может быть выбрана при помощи приоритетного уровня услуги.

$$BW_{effective} = \begin{cases} R_1 \text{ (Приоритет 1)} \\ R_2 \text{ (Приоритет 2)} \\ R_3 \text{ (Приоритет 3)} \end{cases} \quad (8)$$

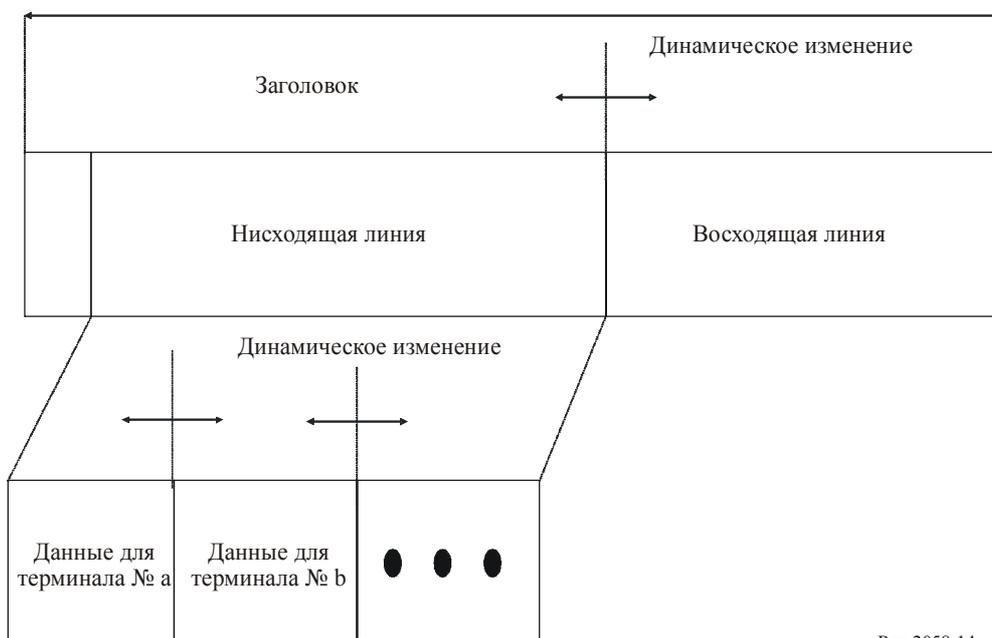
## 5.4 Функция составления расписания для присвоения той или иной полосы пропускания на базовой станции

### 5.4.1 Динамическое присвоение временных слотов (DSA)

Базовая станция, используя схему централизованного управления, выделяет конкретную полосу пропускания для каждого своего соединения с абонентскими станциями. Фактически базовая станция предоставляет в динамическом режиме временной слот TDMA в рамках структуры MAC, так что система может обрабатывать асимметричные данные между нисходящей линией и восходящей линией или адаптивно обрабатывать данные пакетного трафика. Такой метод доступа называется DSA. На рис. 14 показана модель конфигурации структуры MAC системы TDMA-TDD/DSA. Отношение количества присвоенных каналов для данных на нисходящей линии к количеству каналов для восходящей линии применительно к отдельному терминалу динамически меняется в соответствии с условиями трафика.

РИСУНОК 14  
 Модель конфигурации структуры MAC системы TDMA-TDD/DSA

Кадр MAC

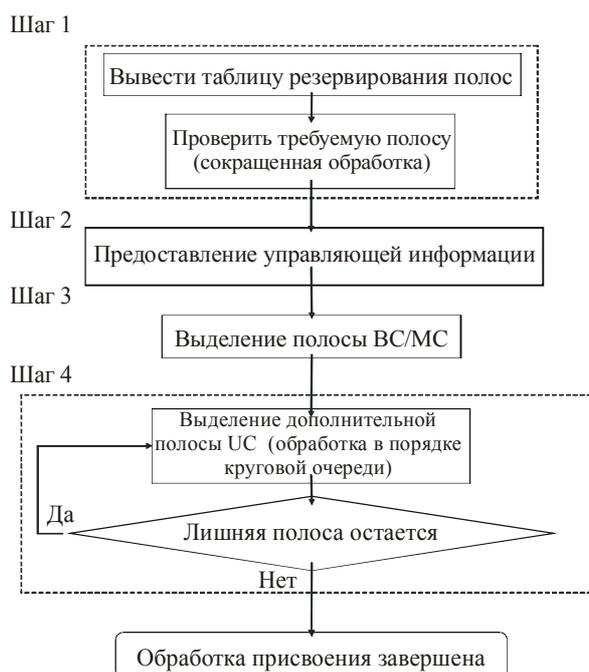


Rap 2058-14

#### 5.4.2 Управление присвоением полосы пропускания при помощи программирующего устройства

Программирующее устройство на базовой станции присваивает ту или иную полосу пропускания частот для отдельного соединения между абонентскими станциями согласно этапам, показанным на рис. 15.

РИСУНОК 15  
 Управление присвоением полосы пропускания при помощи информационных данных программирующего устройства



Rap 2058-15

*Шаг 1: Присвоение зарезервированной полосы пропускания*

Программирующее устройство на базовой станции требует ввода информации о зарезервированных полосах пропускания в таблице резервирования полос согласно требуемой ширине полосы и классу QoS для каждого отдельного соединения. В таблице резервирования полос также осуществляется управление использованием общей зарезервированной полосы пропускания в каждом кадре. Программирующее устройство присваивает номера тех или иных каналов передачи данных для каждого кадра на основе информации о зарезервированной полосе пропускания от отдельного абонентского терминала.

*Шаг 2: Присвоение управляющей информации*

Управляющая информация, требуемая для поддержания беспроводного соединения, должна направляться как можно скорее. Для обеспечения передачи такой управляющей информации программирующее устройство на базовой станции устанавливает верхний порог полосы пропускания, которая может быть зарезервирована каждым кадром для устойчивой передачи управляющей информации.

*Шаг 3: Присвоение широкополосной (ВС) и многоадресной (МС) полос пропускания*

Если после шагов 1 и 2 остается излишняя полоса пропускания, то осуществляется присвоение ВС и МС полос пропускания. При организации МС соединений программирующее устройство вычисляет максимальное количество потенциально пригодных для присвоения каналов данных, основанное на требуемой ширине полосы для каждого МС соединения, а затем присваивает полосу пропускания в границах верхнего предела. Если количество каналов данных, подлежащих передаче, превышает верхний предел, то программирующее устройство прекращает присвоение полосы пропускания для данного интервала. Таким образом программирующее устройство может гарантировать, что ВС или МС передачи не будут монополизировать полосу пропускания.

*Шаг 4: Присвоение дополнительной полосы пропускания для каждого соединения*

Если после шагов 1 и 3 остается излишняя полоса пропускания в каждом кадре, то программирующее устройство присваивает дополнительную полосу пропускания по принципу кругового обслуживания. Эта процедура не зависит от класса QoS, и полоса пропускания присваивается всем соединениям в равной мере. В этом случае программирующее устройство устанавливает верхний порог количества каналов данных, которое может быть выделено для дополнительной полосы пропускания. Данные, превышающие указанный порог, будут временно исключаться до следующего присвоения по принципу кругового обслуживания. Это не позволяет любому мобильному терминалу монополизировать полосу пропускания.

## 6 Сравнение характеристик QoS систем FWA с использованием схемы распределенного управления и схемы централизованного управления

Сравнение двух систем показано в таблице 6.

ТАБЛИЦА 6

### Сравнение характеристик QoS систем FWA с использованием схемы распределенного управления и схемы централизованного управления

	Схема распределенного управления	Схема централизованного управления
Тип QoS	Наилучшие усилия	Гарантированное/Наилучшие усилия
Достоинства	Сходство с Ethernet	1) Гарантия минимальной ширины полосы 2) Адаптивное распределение полос
Примеры систем	IEEE 802.11	ETSI-BRAN HIPERACCESS ETSI-BRAN HiperLAN ETSI-BRAN HIPERMAN MMAC-HSWA HiSWAN IEEE 802.16-2004

## Приложение 2

### Примеры расчетов средней задержки протокола доступа и изменений задержки FWA на основе CSMA/CA

#### 1 Введение

В данном Приложении представляется теоретический метод оценки задержки протокола доступа в сети RLAN, используя метод чистого доступа CSMA/CA (без использования управления расширенным доступом, таким как доступ к каналам на основе конкуренции согласно функции HCF (гибридная функция координации) для поддержки QoS). Кроме того, описываются примеры результатов расчетов в ситуации потока коротких пакетов и в ситуации потока длинных пакетов.

#### 2 Аппроксимации

Значения пропускной способности для станции ( $S_m$ ) и задержки протокола доступа ( $\overline{T}_m$ ) получаются следующим образом:

$$S_m = \frac{L_{ip} \times 8}{\overline{T}_m + SIFS + T_a} \quad (9)$$

$$\overline{T}_m = \sum_{n=0}^{\infty} (1-p_m) p_m^n (A+nB) = A + B \frac{p_m}{1-p_m}, \quad (10)$$

где:

$m$ : количество станций, пытающихся передавать пакеты

$L_{ip}$ : длина пакетов IP (байты)

$T_d$ : длина кадра данных

$T_a$ : подтверждение длины кадра.

Для вывода вышеуказанных аппроксимаций (9) и (10) делаются следующие предположения.

- В случае если канал занят, в пределах одного и того же окна конкурентного доступа ( $CW_{min}$ ) образуется любое случайное число и перезапускается таймер выдержки времени.
- В случае если передаваемый пакет сталкивается с другими пакетами от других станций, в пределах одного и того же окна конкурентного доступа ( $CW_{min}$ ) образуется любое случайное число, которое устанавливается на таймере выдержки времени. В связи с этим задержка ВЕВ не рассматривается

В нижеследующих пп. 3 и 4 описываются примеры результатов расчетов касательно задержки протокола доступа CSMA/CA (режимы 54М, 24М и 6М) и CSMA/CA (11М, длинная преамбула).

#### 3 Примеры расчета задержки пакетов для ситуаций потока коротких пакетов

Задержки при передаче пакетов рассчитываются в предположении, что многие станции SS пытаются одновременно передавать однородные короткие пакеты, наподобие пакетов VoIP. Используемые значения для параметров перечислены в таблице 7.

На рис. 16 показана ожидаемая средняя задержка протокола доступа ( $\overline{T}_m$ ). Задержка  $\overline{T}_m$  зависит от режима передачи и от количества станций, пытающихся одновременно передавать пакеты,  $m$ . Здесь следует обратить внимание на тот аспект, что в показанных на рис. 16 результатах не рассматривается задержка ВЕВ во время наличия коллизий. Вследствие этого, фактические значения

$\overline{T}_m$  будут ухудшаться в большей степени, чем рассчитанные значения, особенно когда число  $m$  возрастает и коллизии наблюдаются чаще.

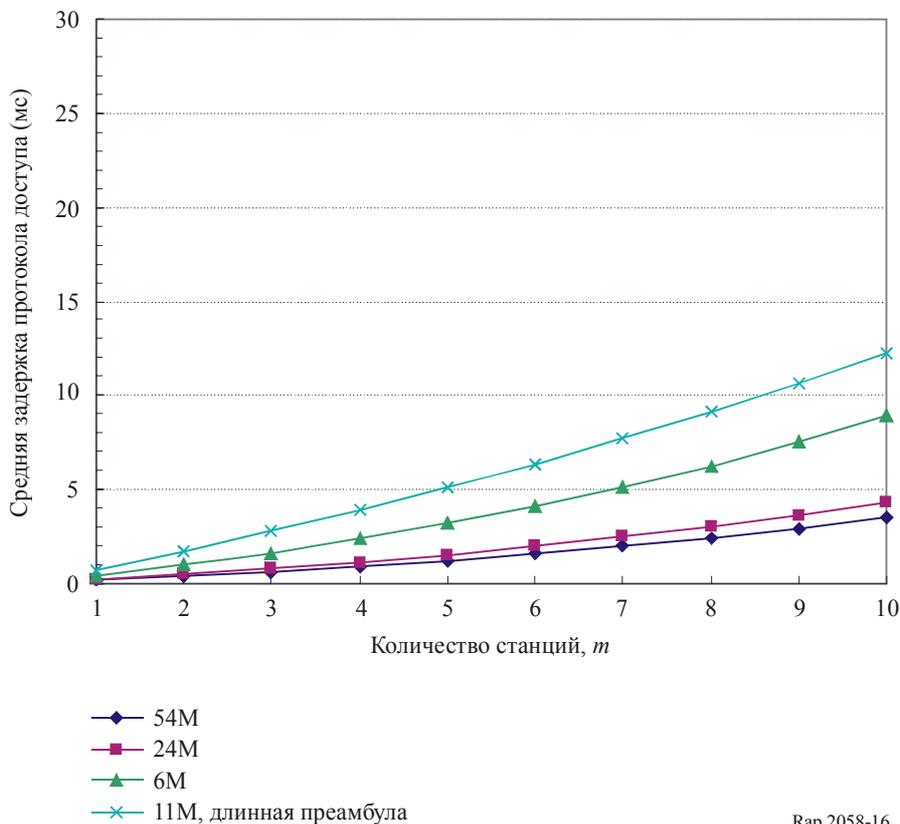
ТАБЛИЦА 7

## Используемые значения для параметров

	CSMA/CA (режим 54М, 24М, 6М)	CSMA/CA (режим 11М, длинная преамбула)
SIFS (мкс)	16	10
DIFS (мкс)	34	50
Временной интервал (мкс)	9	20
CWmin	15	31
Длина пакета (байты)	200	200
Td (мкс)	56 (54М) 100 (24М) 340 (6М)	364
Ta (мкс)	24 (54М) 28 (24М) 44 (6М)	202
Погрешность при распространении	Нет	Нет

РИСУНОК 16

Средняя задержка протокола доступа CSMA/CA (режим 54М, 24М и 6М) и CSMA/CA (11М, длинная преамбула) в зависимости от количества станций для ситуаций потока коротких пакетов



**4 Примеры расчета задержки пакетов для ситуаций потока длинных пакетов**

Уравнения (9) и (10) даны для условий, когда каждая станция пытается передать пакеты одного и того же размера. Здесь следует обратить внимание на ключевой аспект задержки пакетов доступа, связанный с тем, что короткие пакеты, например VoIP, подвергаются негативному воздействию из-за ситуации, когда многие другие станции пытаются передавать длинные пакеты. В случае, когда  $m-1$  станций пытаются передавать длинные пакеты одной и той же длины, а одна станция пытается в это же время передать короткий пакет, для расчета задержки уравнение (10) должно быть изменено. Измененное уравнение (10) приведено ниже.

$$\overline{T_{m(S)}} = \sum_{n=0}^{\infty} (1-p_m)^n p_m^n (A_{(S)} + nB_{(L)}) = A_{(S)} + B_{(L)} \frac{p_m}{1-p_m}, \tag{11}$$

где:

$\overline{T_{m(S)}}$ : Средняя задержка протокола доступа для передачи коротких пакетов

$$A_{(S)} = DIFS + CW_{\min} \times SlotTime / 2 + T_{d(S)}$$

$$B_{(L)} = T_{d(L)} + SIFS + T_a + DIFS + CW_{\min} \times SlotTime / 2$$

$m$ : количество станций, пытающихся передавать пакеты ( $=m_{(L)} + m_{(S)}$ )

$m_{(L)}$ : количество станций, пытающихся передавать длинные пакеты

$m_{(S)}$ : количество станций, пытающихся передавать короткие пакеты ( $=1$ ).

Используемые для уравнения (11) значения параметров перечислены в таблице 8. Другие значения параметров, не показанные в таблице, те же, что и в таблице 7.

ТАБЛИЦА 8

Используемые значения для параметров

	CSMA/CA (режим 54М, 24М, 6М)	CSMA/CA (режим 11М, длинная преамбула)
Длина коротких пакетов (байты)	200	200
Длина длинных пакетов (байты)	1 500	1 500
Td (L) (мкс)	248 (54М) 536 (24М) 2 072 (6М)	1 309
Td (S) (мкс)	56 (54М) 100 (24М) 340 (6М)	364

На рис. 17 показана ожидаемая средняя задержка протокола доступа, ( $\overline{T_{m(S)}}$ ), для передачи коротких пакетов.  $\overline{T_{m(S)}}$  зависит от режима передачи и количества станций, пытающихся одновременно передавать пакеты ( $m=m_{(S)}+m_{(L)}$ , here,  $m_{(S)}=1$ ).

По сравнению с рис. 16 задержка протокола доступа на рис. 17 увеличивается, поскольку намного возрастает время занятия каналов другими пакетами.

На рис. 18 и 19 показан накопленный процент времени, относящийся к задержке протокола доступа CSMA/CA (режим 54M) и CSMA/CA(режим 11M, длинная преамбула), когда  $m = 3, 5$  и  $8$ , соответственно. Квантиль  $1 \times 10^{-3}$  задержки протокола доступа,  $T_{m(S),1e-3}$ , можно вычислить следующим образом:

$$T_{m(S),1e-3} \approx A_{(S)} - B_{(L)} \left( \frac{3}{\log p_m} + 1 \right) \quad (12)$$

Расчетные значения перечислены в таблице 9.

ТАБЛИЦА 9

Квантиль  $1 \times 10^{-3}$  задержки протокола доступа

Примечания	CSMA/CA (режим 11M, длинная преамбула)	CSMA/CA (режим 54M)	
$m_{(L)} = 2, m_{(S)} = 1$	33,5 мс	7,5 мс	$m = 3$
$m_{(L)} = 4, m_{(S)} = 1$	65,9 мс	15,8 мс	$m = 5$
$m_{(L)} = 7, m_{(S)} = 1$	122,1 мс	32,2 мс	$m = 8$

РИСУНОК 17

Средняя задержка протокола доступа CSMA/CA (режим 54M, 24M и 6M) и CSMA/CA (11M, длинная преамбула) в зависимости от количества станций для ситуаций потока длинных пакетов

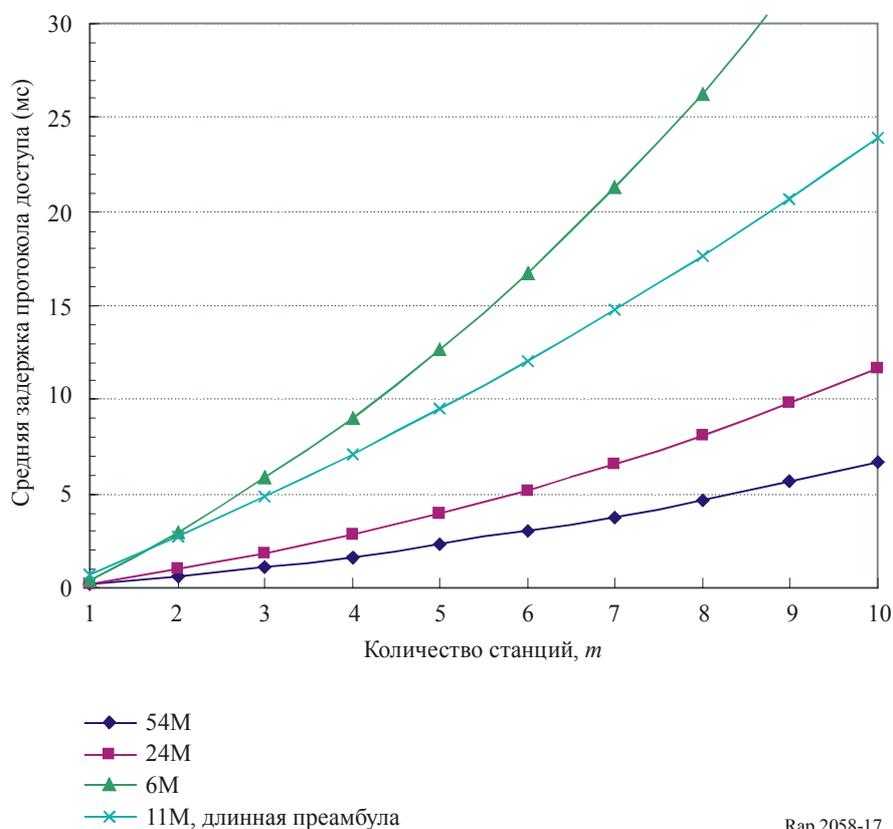


РИСУНОК 18

Накопленный процент времени, относящийся к задержке протокола доступа (CSMA/CA, режим 54M)

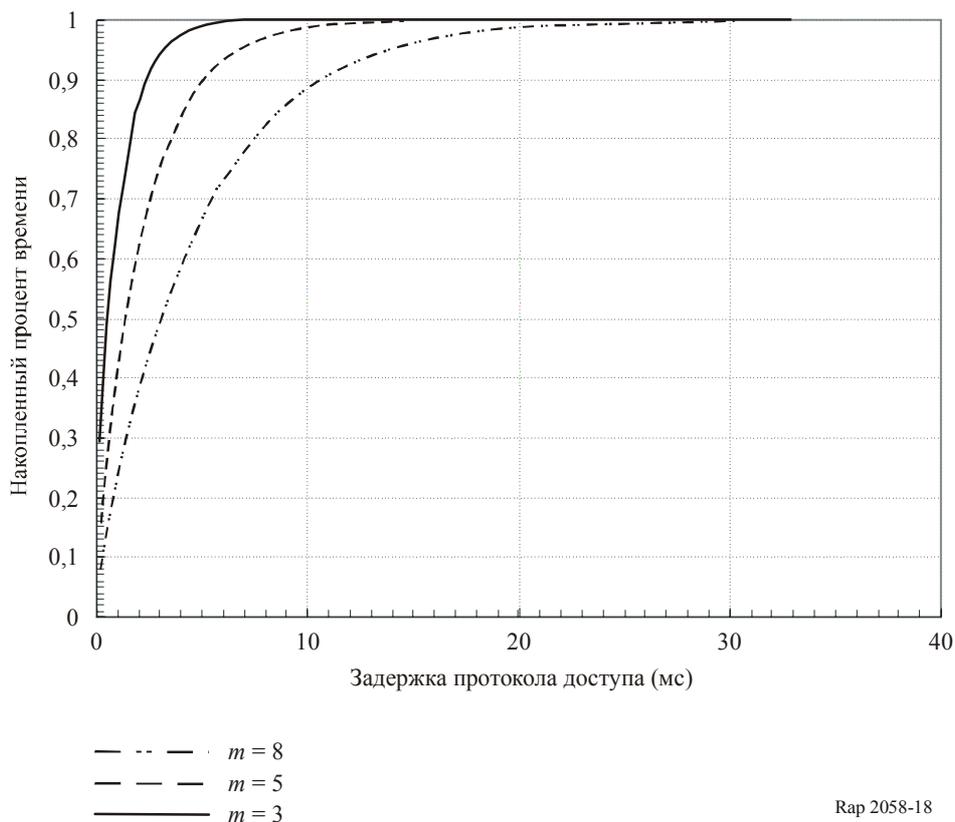
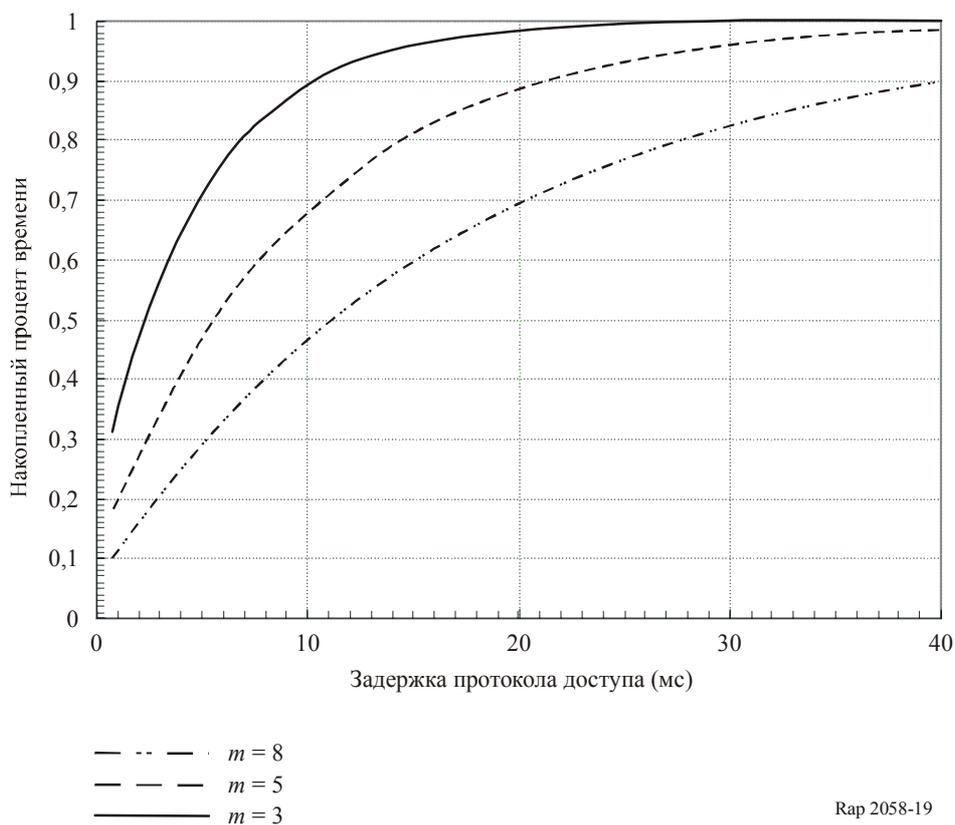


РИСУНОК 19

Накопленный процент времени, относящийся к задержке протокола доступа (CSMA/CA, режим 11M, длинная преамбула)



### Приложение 3

#### Пример расчетов дополнительного времени ожидания в нескольких ситуациях потока VoIP для FWA на основе TDMA

В этом Приложении приводится оценка возможного дополнительного времени ожидания в нескольких ситуациях потока VoIP, соотнесенная со стандартом IEEE 802.16-2004.

##### 1 Услуги планирования на восходящей линии

Описанные в п. 1 услуги планирования предназначены для повышения эффективности процедуры опроса/предоставления. Посредством точного определения услуги планирования и связанных с ней параметров QoS, базовая станция (BS) может ожидать выполнения определенных требований в отношении пропускной способности и времени задержки трафика на восходящей линии и обеспечивать в надлежащее время проведение опросов и/или предоставление полос пропускания.

Основными услугами являются услуга предоставления без запроса (UGS), услуга опроса в реальном времени (rtPS), услуга опроса не в реальном времени (nrtPS) и услуга BE. Каждая услуга адаптирована для конкретного типа потока данных. UGS предназначена для поддержки потоков данных услуги в реальном времени, которые на периодической основе генерируют пакеты данных фиксированного размера, например T1/E1 и передача речи по IP без подавления пауз. Услуга rtPS предназначена для поддержки потоков данных услуги в реальном времени, которые на периодической основе генерируют пакеты данных переменного размера, например MPEG-видео. Услуга nrtPS предназначена для поддержки потоков данных услуги не в реальном времени, которые требуют на регулярной основе предоставления пакетных данных переменного размера, например по протоколу передачи файлов (FTP), занимающих широкую полосу частот. Цель услуги BE – обеспечить эффективное обслуживание трафика BE.

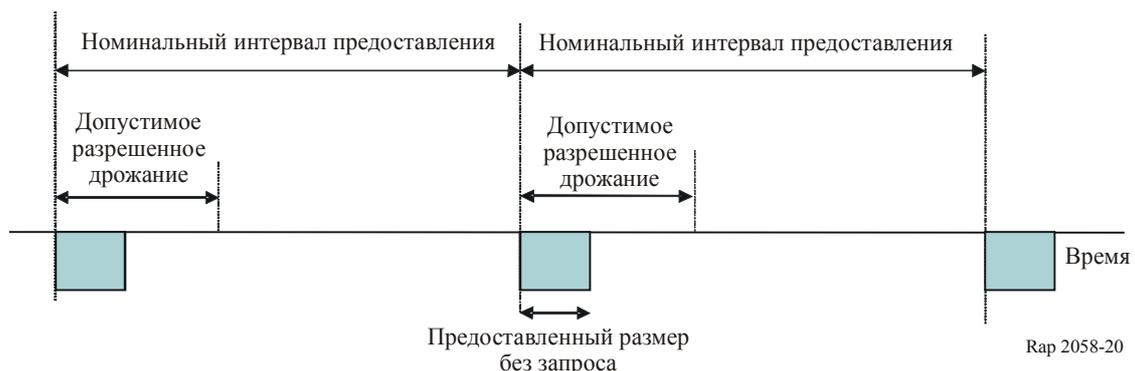
##### 2 Услуга предоставления без запроса (UGS)

Мы рассматриваем UGS в качестве услуги планирования для передачи пакетов VoIP. Эта услуга предлагает предоставление на периодической основе пакетов фиксированного размера в реальном времени, предусматривая исключение служебных сигналов и задержку запросов абонентской станции (SS) и гарантируя, что такое предоставление пакетов доступно для удовлетворения потребностей потока в реальном времени. Базовая станция должна обеспечивать предоставление в периодические интервалы времени пакетов фиксированного размера для потока данных услуги.

Услуга UGS должна определяться с использованием следующих параметров: предоставленный размер без запроса, номинальный интервал предоставления, допустимое разрешенное дрожание и стратегия запроса/передачи. На рис. 20 дается общее представление о таких параметрах. Фактическое дрожание может удерживаться в пределах допустимого разрешенного дрожания, согласованного для процедуры установления соединения при вызове.

РИСУНОК 20

Ключевые параметры для потока данных услуги UGS

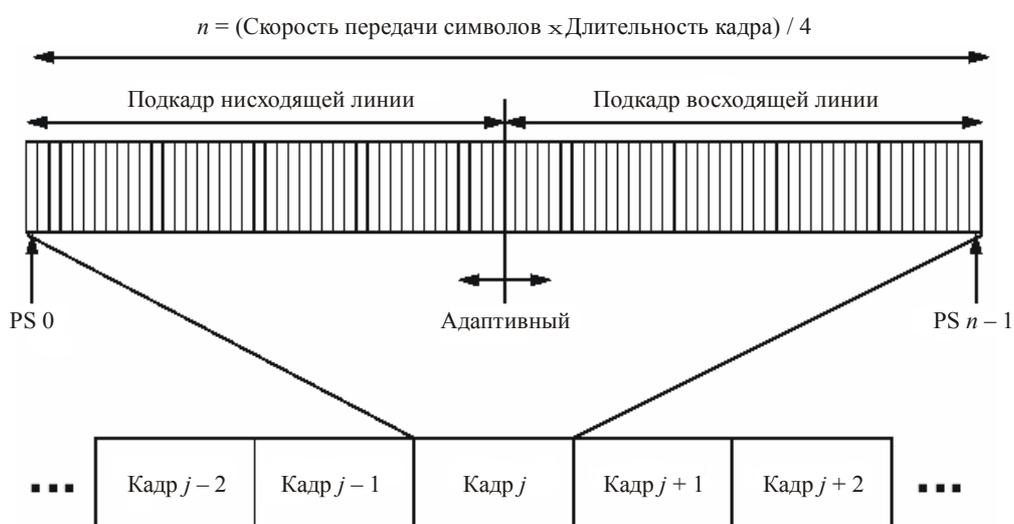


### 3 Структура кадра

В ходе следующего изучения мы считаем TDD дуплексной схемой. На рис. 21 показана структура кадра в случае использования TDD. Кадр имеет фиксированную длительность и один подкадр для нисходящей линии и один – для восходящей линии. Размер кадра составляет обычно 1 мс. Кадр разделяется на целое число физических временных слотов (PS), которые помогают без затруднений разбить на части ширину полосы. Один интервал PS формируется при помощи 4 знаков на уровне РНУ. Кадрование в режиме TDD – адаптивное в том смысле, что полоса пропускания, распределенная для нисходящей линии, может изменяться по отношению к полосе для восходящей линии. Деление полосы между восходящей линией и нисходящей линией является системным параметром и регулируется в рамках системы на более высоких уровнях. Размер каждого физического канала обозначается в единицах временных мини-слотов. Один мини-слот содержит  $i$  слотов PS, где  $i = 2^k$ , а  $k$  – целое число в диапазоне от 0 до 7.

РИСУНОК 21

Структура кадра TDD



Rap 2058-21

### 4 Допущения для расчетов

В ряде ситуаций с потоком VoIP пакеты, подлежащие передаче в только что созданном потоке данных VoIP, могут находиться в состоянии ожидания из-за занятия канала предыдущими другими потоками VoIP. Мы рассчитали пример дополнительного времени ожидания в данной ситуации. Заданные значения параметров перечислены в таблице 10.

Расчет производился на основе следующих допущений.

- Все кодеры VoIP соответствуют Рекомендации МСЭ-T G.711 (кодирование 64 кбит/с). С учетом заголовка TCP/IP, заголовка Ether, заголовка MAC и т. п., длина MAC PDU составляет в общей сложности 234 байта. В предположении внешнего кодирования Рида-Соломона и внутреннего кодирования ВСС, длина пакета становится равной 381 байту. Допуская модуляцию QPSK, символьный размер после преобразования и добавления преамбулы составляет в общем 1540 знаков.
- Предполагаются модуляция QPSK и размер канала 25 МГц. Рекомендуется длительность кадра 1 мс. Таким образом в кадре содержится 20 000 знаков.
- Нагрузка трафика для восходящей линии и нисходящей линии в основном одна и та же, но мы полагаем, что базовая станция одновременно обрабатывает трафики услуг rtPS, nrtPS и BE, а также VoIP, и некоторые из этих услуг могут иметь характер асимметричной нагрузки трафика, которая выше для нисходящей линии, чем для восходящей линии, например, в случае потока MPEG. Таким образом мы считаем, что отношение длины подкадра на восходящей линии/нисходящей линии составляет примерно 1:3. Поэтому предполагается, что количество знаков, присвоенное подкадру для восходящей линии, составляет примерно 5000.

- С учетом присвоения другим видам услуг в реальном и не в реальном времени на восходящей линии, количество пакетов VoIP, присвоенных на восходящей линии, не превышает 2. Фрагментация пакетов VoIP не рассматривается.

ТАБЛИЦА 10

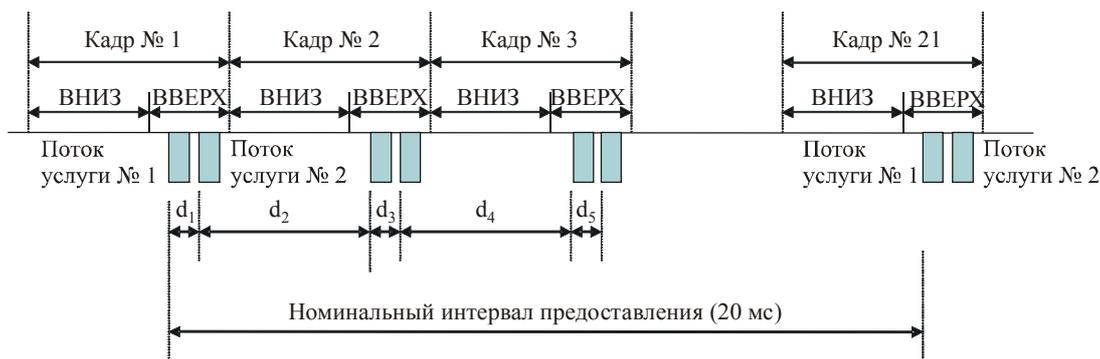
## Заданные значения параметров

		Примечание
Размер MAC PDU	234 байт	
– полезная нагрузка VoIP	160 байтов	Соответствует G.711
– заголовок TCP/IP	40 байтов	
– заголовок Ether	24 байта	
– FCS	2 байта	
– PHSI	2 байта	
– заголовок MAC	6 байтов	
Модуляция	QPSK	
Тип кода FEC	Код Рида-Соломона или BCC	
Тип внешнего кода	Тип 2	
Общий размер внешнего кодового слова (K+R)	254 байта	
Тип внутреннего кода BCC	(24,16)	
Длина преамбулы	16 знаков	
Крутизна спада	0,25	
Размер канала	25 МГц	
Цифровая скорость	20 Мбод	
Битовая скорость	40 Мбит/с	
Длительность кадра	1 мс	
Число знаков в 1 кадре	20 000	
Число мини-слотов в 1 кадре	5 000	Размер мини-слота равен размеру PS (4 знака).

- Пакеты VoIP генерируются с интервалами 20 мс. Для устранения дрожания между пакетами VoIP пакеты из одного потока VoIP передаются с использованием тех же позиций временных слотов на подкадрах восходящей линии с интервалами 20 мс.
- При вышеуказанных предположениях, в соответствии с рис. 22, для потоков VoIP могут быть предоставлены 40 разрешений на передачу пакетов с интервалами 20 мс. Пакет из каждого потока VoIP передается по восходящей линии с использованием одного из этих разрешений.
- В случае отсутствия предыдущих потоков VoIP пакет для восходящей линии из только что созданного потока VoIP будет передаваться в момент времени  $t_0$ , используя при этом ближайшее разрешение на временной оси. С другой стороны, в случае если один или несколько потоков VoIP уже существуют, и разрешения резервируются для существующего потока(ов) VoIP, пакет для восходящей линии из только что созданного потока VoIP может оказаться не в состоянии использовать ближайшее разрешение, и программирующее устройство на базовой станции будет искать незарезервированное предоставление и использовать его для абонентской станции (SS). SS получает информацию от UL\_MAP в подкадре нисходящей линии и передает пакет в момент времени  $t_1$ . То есть может случайно возникнуть дополнительная задержка ( $t_1 - t_0$ ). В последующем такой вид времени ожидания просчитывается.

РИСУНОК 22

Предоставление интервалов для VoIP



Rap 2058-22

- Теперь мы допускаем, что обслуживаются  $(m - 1)$  потоков VoIP. Среднее дополнительное время ожидания, наблюдаемое в новом  $m$ -м потоке VoIP,  $\overline{D}_m$ , можно аппроксимировать следующим образом.

$$\overline{D}_m \approx (N - m + 1) \cdot \frac{(m - 1)!}{N!} \cdot \sum_{j=1}^{m-1} \left\{ \sum_{i=1}^j d_i \cdot \frac{(N - j - 1)!}{(m - j - 1)!} \right\}, \quad (13)$$

$$1 \leq j \leq m - 1$$

где:

- $N$ : Возможное максимальное количество предоставлений для VoIP в пределах временного интервала 20 мс (= 40)
- $d_i$ : Разность времени между  $(i - 1)$ -м и  $i$ -м предоставлением.

Кроме того, для упрощения расчетов предполагаем, что

$$d_{odd} = 0,08 \text{ мс}, \quad d_{even} = 0,92 \text{ мс}.$$

## 5 Результаты расчетов для рассмотренных примеров

Результаты расчетов величины  $\overline{D}_m$ , аппроксимированной согласно уравнению (13), показаны на рис. 23. На этом рисунке показаны также результаты моделирования. Время ожидания меняется в зависимости от количества существующих потоков VoIP. На рис. 24 отображен накопленный процент времени ожидания, вычисленный по уравнению (13). Иногда может иметь место ожидание длительностью 20 мс.

С учетом некоторых допущений была произведена оценка возможного предполагаемого дополнительного времени ожидания для пакетов VoIP в ряде ситуаций, связанных с потоками VoIP. Для режима TDMA ключевым фактором для улучшения характеристик временной задержки является алгоритм планирования, но этот вопрос выходит за рамки стандарта IEEE802.16-2004. В добавление к такому алгоритму, причинами ухудшения ситуации с задержками IPTD могут стать некоторые факторы, такие как структура кадра, нагрузка и пропускная способность трафика.

РИСУНОК 23

Пример среднего дополнительного времени ожидания, которое оказывает влияние на  $m$ -й поток VoIP

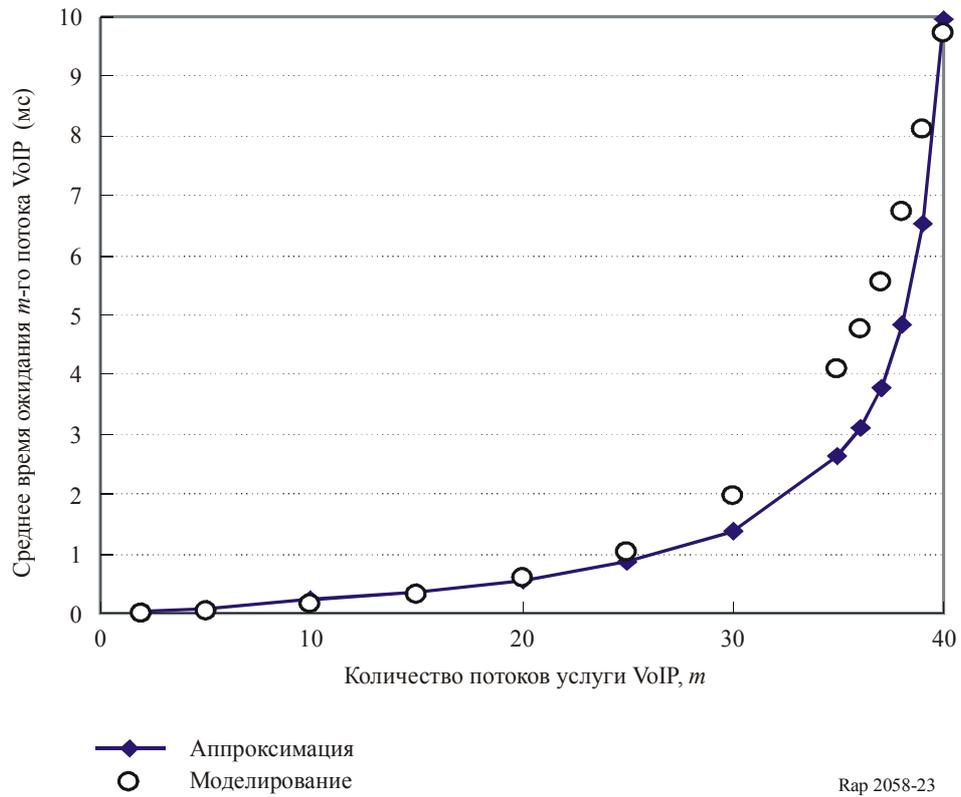
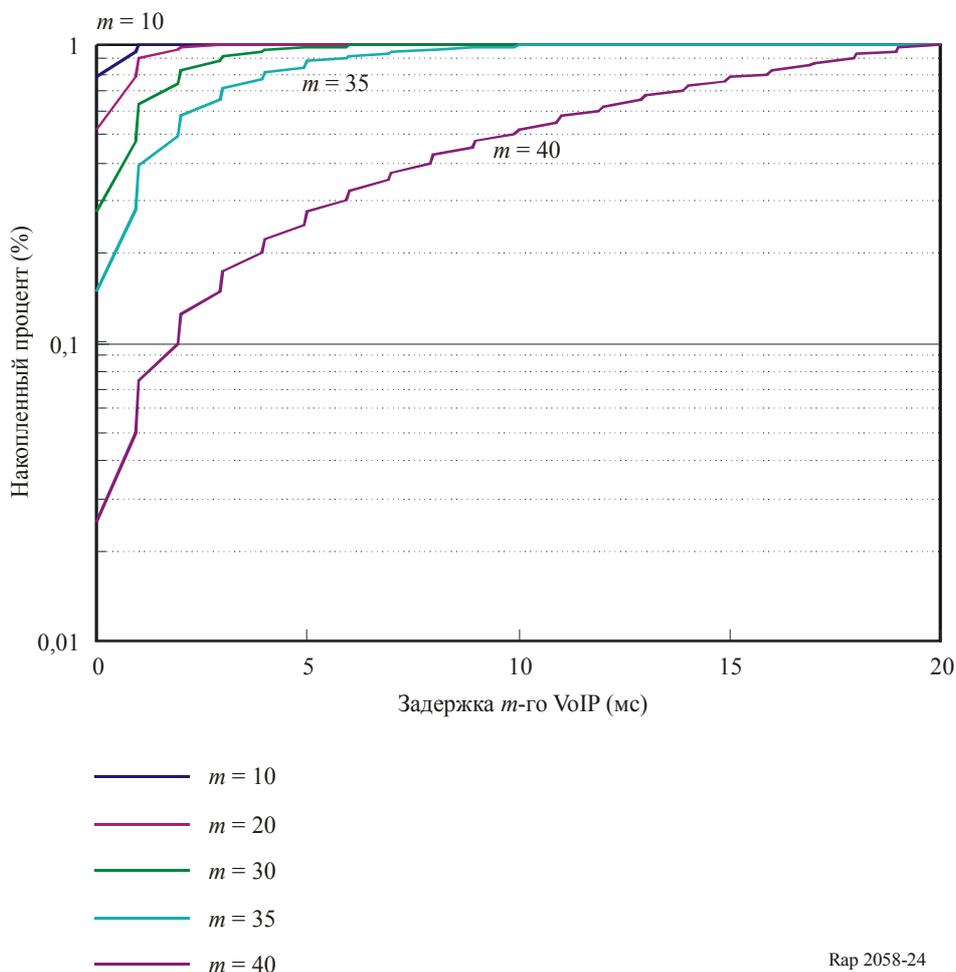


РИСУНОК 24

Пример накопленного процента дополнительного времени ожидания, которое оказывает влияние на  $m$ -й поток VoIP



Rap 2058-24

## Приложение 4

### Пример расчетов задержки сети с QoS класса 0

В этом Приложении представлен пример расчетов задержки IPTD для любого участка трассы, поддерживающего поток с QoS класса 0, на базе методологии, описанной в Добавлении III к Рекомендации МСЭ-T Y.1541.

#### 1 Расчет задержки в сетях доступа, включая системы FWA

В этом пункте описывается концепция проведения расчетов задержки в сетях доступа, включая системы FWA. На рис. 25 показана конфигурация сети доступа, включая системы FWA. Значения IPTD и IPDV в сети доступа,  $D(AN)$  и  $DV(AN)$ , вычисляются согласно следующим уравнениям.

$$\begin{aligned}
 D(AN) &= D(FWA) + D(BH) \\
 &= D(s) + D(air) + D(b) + D(BH) \\
 DV(AN) &\leq DV(FWA) + DV(BH) \\
 &= DV(s) + DV(air) + DV(b) + DV(BH)
 \end{aligned}$$

Как отмечено на рис. 25, линия между базовой станцией и шлюзом доступа определяется как транзитная линия (backhaul). Транзитная линия является частью сети доступа и состоит из волоконно-оптического, коаксиального, медного кабеля или другой радиосистемы, например, системы фиксированной беспроводной связи Р-Р или Р-МР. Как правило, транзитная линия должна проектироваться так, чтобы она имела достаточную пропускную способность для передачи трафика от системы/к системе FWA. Таким образом значения IPTD и IPDV, наблюдающиеся в транзитной линии,  $D(BH)$  и  $DV(BH)$ , обычно невелики. В результате вышеуказанные уравнения принимают следующий измененный вид:

$$D(AN) \approx D(FWA)$$

$$= D(s) + D(air) + D(b)$$

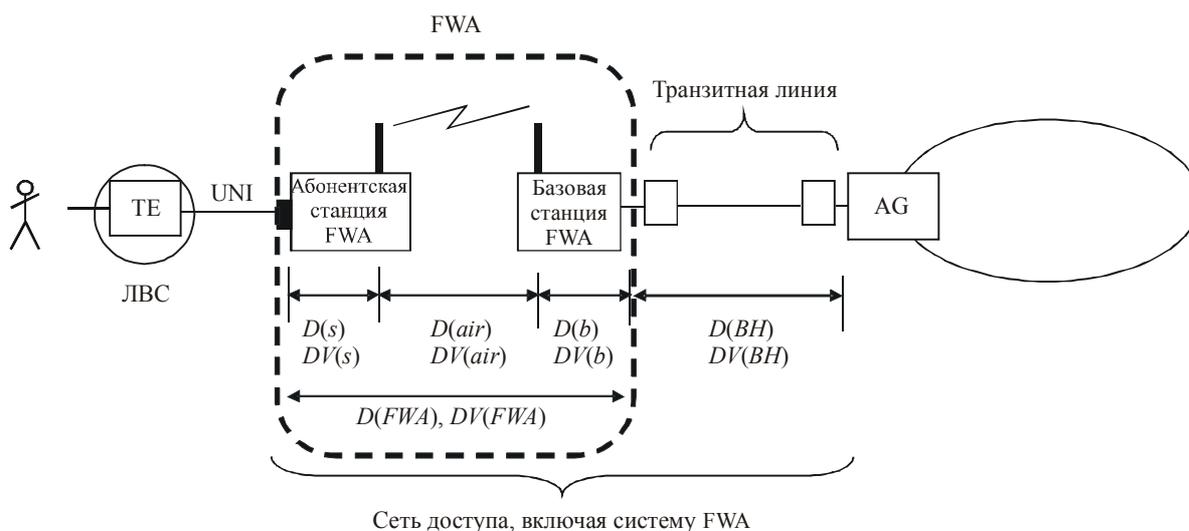
$$DV(AN) \leq DV(FWA)$$

$$= DV(s) + DV(air) + DV(b)$$

Кроме того, если основной причиной  $D(FWA)$  и  $DV(FWA)$  является протокол доступа, и другими причинами можно пренебречь, значения  $D(AN)$  и  $DV(AN)$  можно в грубом приближении представить как  $D(AN) \approx D(air)$  и  $DV(AN) \approx DV(air)$ .

РИСУНОК 25

## Пример сети доступа, включая систему FWA



TE: Оконечное оборудование  
 AG: Шлюз доступа  
 FWA: Фиксированный беспроводный доступ  
 UNI: Интерфейс пользователь-сеть

$D(FWA)$ : Время задержки на участке FWA  
 $-D(s)$ : Время задержки на абонентской станции FWA  
 $-D(air)$ : Время задержки, зависящее от протокола доступа  
 $-D(b)$ : Время задержки на базовой станции FWA  
 $D(BH)$ : Время задержки в транзитной линии

$DV(FWA)$ : Изменения задержки на участке FWA  
 $-DV(s)$ : Изменения задержки на абонентской станции  
 $-DV(air)$ : Изменения задержки, зависящие от протокола доступа  
 $-DV(b)$ : Изменения задержки на базовой станции FWA  
 $DV(BH)$ : Изменения задержки в транзитной линии

## 2 Пример расчетов задержки сети с QoS класса 0 на участке UNI–UNI

Согласно Рекомендации МСЭ-Т Y.1541 теоретическое значение IPTD в IP-участке сети составляет:

$$IPTD \text{ (мс)} \leq (R_{км} * 0,005) + (N_A * D_A) + (N_D * D_D) + (N_C * D_C) + (N_I * D_I)$$

$$R_{км} = 1,25 * D_{км}$$

В этом уравнении:

- $D_{км}$  – расстояние по воздушной трассе между двумя маршрутизаторами, которые служат границей этого участка.
- $R_{км}$  – предполагаемая длина маршрута.
- $N_A, N_D, N_C$  и  $N_I$  отображают количество маршрутизаторов шлюзов доступа IP, распределения, основного и межсетевого шлюзов, соответственно; это согласуется с примером сетевой секции на рис. III.1 в Добавлении III к Рекомендации МСЭ-Т Y.1541.
- $D_A, D_D, D_C$  и  $D_I$ , отображают задержку в маршрутизаторах шлюзов доступа IP, распределения, основного и межсетевого шлюзов, соответственно; это согласуется со значениями, определенными в таблице III.1 Добавления III к Рекомендации МСЭ-Т Y.1541.

Максимальное значение IPDV может быть вычислено аналогичным образом.

В качестве примера расчета задержки на участке UNI–UNI предполагается гипотетический эталонный тракт (HRP), показанный на рис. 26. Рассматриваются следующие допущения:

- Имеются два участка доступа, один участок состоит из системы FWA, а другой представляет собой транзитную линию.
- Остальные участки, такие как две сети IP и сеть не-IP, состоящая из другого участка доступа, согласуются с HRP, показанной на рис. III.3 в Добавлении III к Рекомендации МСЭ-Т Y.1541.
- Сеть не-IP имеет емкость T1.
- Наибольший размер пакета равен 1500 байтам, а размер пакета VoIP – 200 байтам.
- Общее расстояние и длина маршрута составляют 4070 км и 5087,5 км, соответственно, что согласуется с допущением в Добавлении III к Рекомендации МСЭ-Т Y.1541.

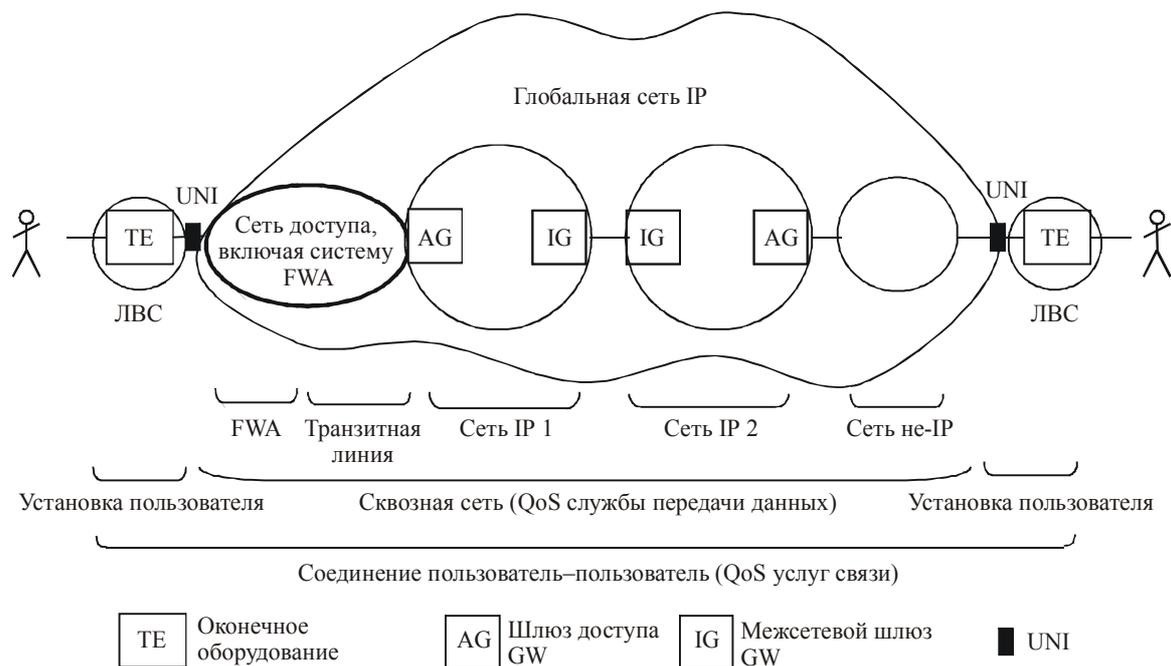
В таблице 11 приведена конфигурация гипотетического эталонного тракта (HRP) с точки зрения количества и типа маршрутизаторов, расстояния и вклада всех компонентов HRP в величины IPTD и IPDV на участке UNI–UNI. Кроме значений, относящихся к участку доступа, включая систему FWA, значение каждого компонента, включенного в сеть IP 1, сеть IP 2 и сеть не-IP, согласуется с таблицей III.2 Добавления III к Рекомендации МСЭ-Т Y.1541.

Значения IPTD и IPDV сети доступа, включая систему FWA,  $D(AN)$  и  $DV(AN)$ , зависят от протокола доступа, описанного в разделе 1 данного Приложения, и, как указано в п. 6.3, они существенно меняются вследствие изменений некоторых условий, например, общего трафика. Таким образом, зафиксировать эти значения затруднительно.

Существуют некоторые примеры задержки протокола доступа в случае, когда для системы FWA в Приложении 2 к настоящему Отчету принимается протокол беспроводного доступа на основе CSMA/CA. Исходя из указанного Приложения предполагается, что значение  $D(AN)$  изменяется в пределах нескольких миллисекунд или нескольких десятков мс. Для этого анализа в качестве примера принимается значение 10 мс. Это значение (10 мс) также устанавливается в качестве требуемой рабочей характеристики системы ETSI HIPERACCESS (см. ETSI TR 101 177 V1.1.1[1]). В Приложении 2 также показаны примеры квантиля  $1 \times 10^{-3}$  задержки протокола доступа. Хотя квантиль задержки  $1 \times 10^{-3}$  также изменяется под влиянием некоторых условий, в качестве примера принимается значение 16 мс в случае CSMA/CA (режим 54M,  $m = 5$ ).

РИСУНОК 26

Гипотетическая эталонная цепь для QoS класса 0 (включая систему FWA)



Rap 2058-26

ТАБЛИЦА 11

Анализ задержки для примера трассы с QoS класса 0  
(в случае CSMA/CA как протокола доступа FWA)

Элемент	Единица	Единица IPTD (мс)	Средняя IPTD (мс)	Единица IPDV (мс)	Макс. IPDV (мс)
Расстояние	4 070 км				
Маршрут	5 087,5 км		25		
Сеть доступа, включая систему FWA	1	1	<b>10</b>	1	<b>16</b>
Сеть IP 1			20		28
Доступ, $N_A$	1	10	10	16	16
Распределение, $N_D$	1	3	3	3	3
Основной, $N_C$	2	2	4	3	6
Межсетевой шлюз, $N_I$	1	3	3	3	3
Сеть IP 2			24		34
Доступ, $N_A$	1	10	10	16	16
Распределение, $N_D$	1	3	3	3	3
Основной, $N_C$	4	2	8	3	12
Межсетевой шлюз, $N_I$	1	3	3	3	3
Сеть не-IP			15		0
<b>Всего, UNI-UNI (мс)</b>			<b>94</b>		<b>78</b>
Спецификация Рекомендации МСЭ-T Y.1541			100		50

Вычисленное значение IPTD на участке UNI–UNI составляет 94 мс и находится в пределах норматива в 100 мс для класса 0. С другой стороны, вычисленное значение IPDV на участке UNI–UNI составляет 78 мс, и это значение превышает норматив, указанный в Рекомендации МСЭ-T Y.1541 (50 мс). В этой связи необходимы дальнейшие исследования. Тем не менее, следует отметить, что:

- значение 78 мс рассчитывается исходя из 16 мс (DV(AN)) и 62 мс (изменения IPDV, обусловленные другими участками);
- значение 62 мс, обусловленное другими участками, соответствует значению, используемому для примера расчета IPDV на участке UNI–UNI в таблице III.2 Добавления III к Рекомендации МСЭ-T Y.1541; и
- в Рекомендации МСЭ-T Y.1541 отмечается, что само значение 62 мс является весьма пессимистичным, предполагающим использование наихудшего случая для каждого маршрутизатора.

В таблице 11 также показан пример задержки на участке UNI–UNI в случае использования CSMA/CA в качестве протокола доступа для системы FWA. Показатели IPTD и IPDV могут быть улучшены, если предположить использование в системе FWA режима TDMA.

## Приложение 5

### Технические характеристики широкополосных систем FWA для поддержки метода VoIP

#### 1 Введение

В последние годы услуга VoIP была одним из наиболее привлекательных приложений для поставщиков широкополосных интернет-услуг, включая даже традиционных операторов электросвязи. Сектор МСЭ-T занимался вопросами стандартизации нескольких аспектов метода VoIP, таких как протоколы, передача и качество речевой связи. Существуют несколько Рекомендаций МСЭ-T, в которых определяются требуемые сквозные технические характеристики для сетей на основе IP. Если услуга VoIP предоставляется с помощью системы FWA, то в целях согласования с указанными сквозными характеристиками должны также определяться необходимые технические характеристики для беспроводного участка. В данном Приложении приводятся соображения, касающиеся удовлетворения эксплуатационных параметров для услуги VoIP, передаваемой в системах FWA.

#### 2 Требуемые параметры для VoIP, относящиеся к сквозным техническим характеристикам

Требуемые технические характеристики для передачи пакетов IP приведены в Рекомендациях МСЭ-T Y.1540 и Y.1541. В Рекомендации МСЭ-T Y.1540 определяется доступность эксплуатационных параметров, а в Y.1541 дается описание шести классов QoS, а также указываются эксплуатационные параметры для передачи пакетов IP. Обе эти Рекомендации применяются к сквозным международным услугам передачи данных. Они поддерживают широкий диапазон приложений IP, таких как VoIP, проведение конференций с помощью мультимедийных средств или передача интерактивных данных. Поэтому некоторые элементы требуемых технических характеристик подходят и для передачи речи.

Для измерения качества речи в режиме телефонии применяются две схемы. Одна представляет схему субъективных измерений, а другая – объективных измерений. В субъективных испытаниях обычно используется оценка в виде показателя усредненного мнения (MOS); результаты испытаний математически усредняются для получения количественного показателя характеристик сети. Подробное описание процедуры измерений MOS приведено в Рекомендации МСЭ-T P.800. Одним из репрезентативных объективных испытаний является оценка восприятия качества речи (PESQ); в ходе

этого испытания проводятся измерения разборчивости речи путем сравнения входного испытуемого сигнала с сигналом на выходе сети. Процедура измерений оценки PESQ приведена в Рекомендации МСЭ-T P.862.

Одна лишь оценка PESQ не может дать всеобъемлющую информацию о качестве речи. Для полной оценки качества речи применяется модель E, приведенная в Рекомендации МСЭ-T G.107. Она используется для вычисления показателя оценки характеристик передачи  $R$ . Величина  $R$  вычисляется следующим образом:

$$R = R_0 - I_s - I_d - I_{e, eff} + A, \quad (14)$$

где:

$R_0$ : отношение основного сигнала к шуму,

$I_s$ : комбинация всех видов ухудшений, которые испытывает одновременно речевой сигнал,

$I_d$ : ухудшение, обусловленное задержкой,

$I_{e, eff}$ : ухудшение, обусловленное низкой скоростью кодирования и потерей пакетов.

Благоприятный фактор  $A$  позволяет в какой-то степени компенсировать вышеуказанные факторы ухудшения, например за счет использования преимуществ подвижной связи.

Параметры, используемые для вычисления  $R$ , а также метод их расчета приведены в стандарте JJ-201.01 комитета ТТС.

### 3 Соображения, касающиеся удовлетворения эксплуатационных параметров для услуги VoIP, передаваемой в системах FWA

Эксплуатационными параметрами, которые влияют на качество речи, оцениваемое с помощью показателя  $R$ , являются задержка и эхо-сигналы. На качество речи также оказывает влияние потеря пакетов, которая относится к одному из характерных параметров сети с пакетной коммутацией. Эти эксплуатационные параметры меняются в зависимости от используемой системы беспроводной связи.

#### 3.1 Задержка и эхо-сигналы

Задержка и эхо-сигналы – это параметры, которые должны со всей серьезностью учитываться в системах беспроводной связи. В модели E описываются три существующих параметра задержки, как показано в таблице 12.

ТАБЛИЦА 12

Параметры задержки в модели E

Параметр	Сокращение	Единица	Диапазон
Абсолютная задержка в соединениях, свободных от эхо-сигналов	$T_a$	мс	<500 мс
Круговая задержка на трассе при наличии эхо-сигналов	$T_r$	мс	<1 000 мс
Средняя односторонняя задержка на трассе при наличии эхо-сигналов	$T_a$	мс	<500 мс

$T_a$  – это длительная абсолютная задержка, которая наблюдается даже при применении совершенных схем эхоподавления. Задержки  $T_r$  и  $T$  служат причиной появления эхо-сигналов и эхо говорящего, соответственно. Если система FWA предоставляет услугу VoIP, то задержка при передаче пакета на участке беспроводного доступа должна быть менее 500 мс за вычетом задержки в стандартном терминале, включая кодеры, в основной сети и в сети проводного доступа на другой стороне канала

связи. Если для обеих сетей доступа применяются беспроводные системы или используется сеть многоскачкового беспроводного доступа, то задержка на каждом участке беспроводного доступа должна планироваться как общая суммарная задержка на участках беспроводного доступа, которая удовлетворяет техническим требованиям. Этот норматив по задержке является предварительным, поскольку он представляет максимальную задержку, используемую в модели Е. Для определения точного норматива необходимы дальнейшие исследования.

### 3.2 Потеря пакетов

Оценка параметра потери пакетов необходима для определения качества речевой связи. Коэффициент потери пакетов возрастает, когда с учетом сетевых условий трафик пакетов превышает запланированные технические возможности сети. Такие условия встречаются как в проводных, так и в беспроводных системах. Вероятность потери пакета ( $P_{pl}$ ) больше в беспроводных, чем в проводных системах, поскольку технические характеристики сети в беспроводных системах обычно хуже в сравнении с характеристиками проводных систем. В беспроводных системах скорость передачи данных ниже, чем в проводных (оптических) системах, и сигнал может иногда ухудшаться из-за влияния помех, затенения или ослабления в дожде.

Параметр  $P_{pl}$  состоит из вероятности потери пакетов в сети ( $P_{plN}$ ) и вероятности потери пакетов в буфере устранения дрожаний ( $P_{plB}$ ).  $P_{plN}$  представляет отношение количества принятых пакетов к количеству переданных пакетов.  $P_{plB}$  – это пакеты, потерянные вследствие переполнения буфера устранения дрожаний. Если система FWA предоставляет услугу VoIP, то параметр потери пакетов должен быть менее 20% за вычетом значений  $P_{plB}$  и  $P_{plN}$  в проводной сети, как показано в таблице 13. Если для обеих сетей доступа применяются беспроводные системы или используется сеть многоскачкового беспроводного доступа, то аналогично требуемым показателям задержки вероятность потери пакетов в каждой сети беспроводного доступа должна планироваться как общая суммарная вероятность для сети беспроводного доступа, которая удовлетворяет техническим требованиям. Это также предварительное требование, поскольку оно представляет максимальное значение вероятности случайной потери пакетов, используемое в модели Е. Для определения точного значения данного параметра необходимы дальнейшие исследования.

ТАБЛИЦА 13

#### Параметр потери пакетов

Параметр	Сокращение	Единица	Диапазон
Вероятность случайной потери пакетов	$P_{pl}$	%	<20

Модель и метод расчета параметра  $P_{plB}$  приведены в стандарте JJ-201.01 комитета TTC и в работе "Network performance metrics in estimating the speech quality of VoIP" (M. MASUDA и K. ORI, [ноябрь, 2001 г.] IEICE APSITT2001, с. 333–337), соответственно.

## 4 Пример оценки качества речи для гипотетических трасс, включая FWA

В этом пункте производится оценка времени задержки при обработке в речевом кодере, соответствующем Рекомендации МСЭ-T G.711. Затем, исходя из анализа задержки "рот–ухо", включая задержку на участке UNI–UNI, и задержки в кодере, даются результаты расчета показателя R, определенного в Рекомендации МСЭ-T G.107 в качестве параметра оценки качества речи.

### 4.1 Задержка в кодере

В последние годы для предоставления услуги VoIP применяются несколько видов кодеров, таких как описаны в Рекомендациях МСЭ-T G.711, G.729 и G.723.1. Наиболее распространенный метод кодирования речи используется в кодере, приведенном в Рекомендации МСЭ-T G.711. Кодированные данные не сжимаются и скорость кодирования составляет 64 кбит/с. Заданные значения для компонентов задержки перечислены в таблице 14.

ТАБЛИЦА 14

## Пример оценки времени задержки в кодере согласно Рекомендации МСЭ-T G.711

		Задержка (мс)	Примечания
Формирование пакета		40	Удвоенный размер кадра
Буфер устранения дрожаний, в среднем		40	В случае буфера 80 мс
Маскирование потери пакетов (PLC)	Добавление I/G.711	10	Один "кадр" PLC
	Нет	0	
Всего		80 или 90	80 мс (без PLC), 90 мс (с PLC)

Предполагается, что длина пакета VoIP равна 200 байтам, включая заголовок TCP/IP в 40 байтов и полезную нагрузку в 160 байтов. Далее считается, что временной кадр кодера составляет 20 мс. Таким образом, в соответствии с Рекомендацией МСЭ-T G.113 предполагается, что задержка при обработке для формирования пакета равна удвоенному временному интервалу 20 мс, то есть 40 мс. Для устранения дрожания между входными пакетами используется соответствующий буфер. В идеальном случае размер буфера определяется согласно максимальному значению IPDV. Например, если значение IPDV составляет 78 мс (по расчетам в таблице 11 Приложения 4), то считается, что размер буфера должен быть 80 мс. В Рекомендации МСЭ-T Y.1541 отмечается, что вклад буфера устранения дрожания основывается на среднем времени, в течение которого пакеты находятся в буфере, и можно предположить, что оно составляет половину размера буфера. Следовательно, в этом случае вклад буфера устранения дрожания считается равным 40 мс. Кроме того, в случае использования метода маскирования потери пакетов (PLC) добавляется задержка 10 мс. В результате, по оценкам для данного примера, задержка в кодере будет в общей сложности составлять 80 или 90 мс.

Общая задержка в кодере может быть снижена за счет уменьшения времени задержки при формировании пакета и/или уменьшения размера буфера устранения дрожания. Задержка при формировании пакета зависит от размера кадра, и уменьшение размера кадра может сократить время задержки в кодере. Однако при этом отношение длины заголовка VoIP к общей длине пакета VoIP увеличивается, что приведет к снижению эффективности передачи на линии связи. Задержка в кодере может быть также снижена за счет уменьшения размера буфера устранения дрожания. Однако снижение размера буфера приведет к увеличению количества беспорядочно приходящих пакетов, и такие пакеты отбрасываются.

## 4.2 Временная задержка "рот-ухо"

В Рекомендации МСЭ-T G.114 предлагается, чтобы временная задержка "рот-ухо" была менее 150 мс. В этом пункте показан пример результатов расчета задержки "рот-ухо". Данная задержка зависит от значений  $D(AN)$  и  $DV(AN)$ , причем эти оба параметра изменяются по мере изменения некоторых условий, связанных, например, с протоколом доступа FWA и количеством абонентских станций.

Далее предполагается следующее:

- Вклады в задержку для расчета IPTD и IPDV (UNI-UNI) основаны на данных таблицы 7 в Приложении 2, кроме вкладов за счет участков доступа, включая систему FWA, то есть  $D(AN)$  и  $DV(AN)$ .
- Доминирующим фактором, вызывающим задержки  $D(AN)$  и  $DV(AN)$ , является задержка протокола доступа системы FWA; другими факторами можно пренебречь.
- Система FWA принимает протокол беспроводного доступа на базе чистого режима CSMA/CA.
- При условии, что  $m-1$  станций, с 1-й до  $(m-1)$ -й станции, пытаются передавать длинные пакеты (1500 байтов) наподобие FTP, еще одна станция ( $m$ -я станция) пытается передать короткий пакет (200 байтов) для VoIP.

- Вклады в задержку за счет обработки в кодере основаны на данных таблицы 9, за исключением вклада буфера устранения дрожания. Предполагается, что вклад в задержку за счет буфера устранения дрожания зависит от общей величины IPDV на участке UNI-UNI. (Размер буфера считается равным величине IPDV на участке UNI-UNI, а средний вклад от этого буфера устранения дрожания считается равным половине размера буфера.)

На основе вышеуказанных допущений временная задержка "рот-ухо",  $D(\text{общая})$ , наблюдающаяся при передаче коротких пакетов, может быть рассчитана следующим образом:

$\text{Задержка в кодере} = \text{Формирование пакета} + \text{Буфер устранения дрожания} + \text{PLC}$

$\text{Формирование пакета} = 40 \text{ мс}$

$\text{Буфер устранения дрожания} \approx \frac{DV(AN) + DV(\text{Сеть IP1}) + DV(\text{Сеть IP2})}{2}$

$$DV(AN) \approx DV(FWA) = A_{(S)} - B_{(L)} \left( \frac{3}{\log p_m} + 1 \right) \quad (15)$$

$DV(\text{Сеть IP 1}) = 28 \text{ мс}$

$DV(\text{Сеть IP 2}) = 34 \text{ мс}$

$$PLC = \begin{cases} 10 \text{ мс} & (\text{с PLC}) \\ 0 & (\text{без PLC}) \end{cases}$$

$D(\text{общая}) = IPTD(UNI \cdot UNI) + \text{Задержка в кодере}$   
 $= D(AN) + D(\text{Маршрут}) + D(\text{Сеть IP 1}) + D(\text{Сеть IP 2})$  ,  
 $+ D(\text{Сеть не-IP}) + \text{Задержка в кодере}$

где:

$$D(AN) \approx D(FWA) \approx A_{(S)} + B_{(L)} \frac{p_m}{1-p_m} \quad (16)$$

$D(\text{Маршрут}) = 25 \text{ мс}$

$D(\text{Сеть IP 1}) = 20 \text{ мс}$

$D(\text{Сеть IP 2}) = 24 \text{ мс}$

$D(\text{Сеть не-IP}) = 15 \text{ мс}$

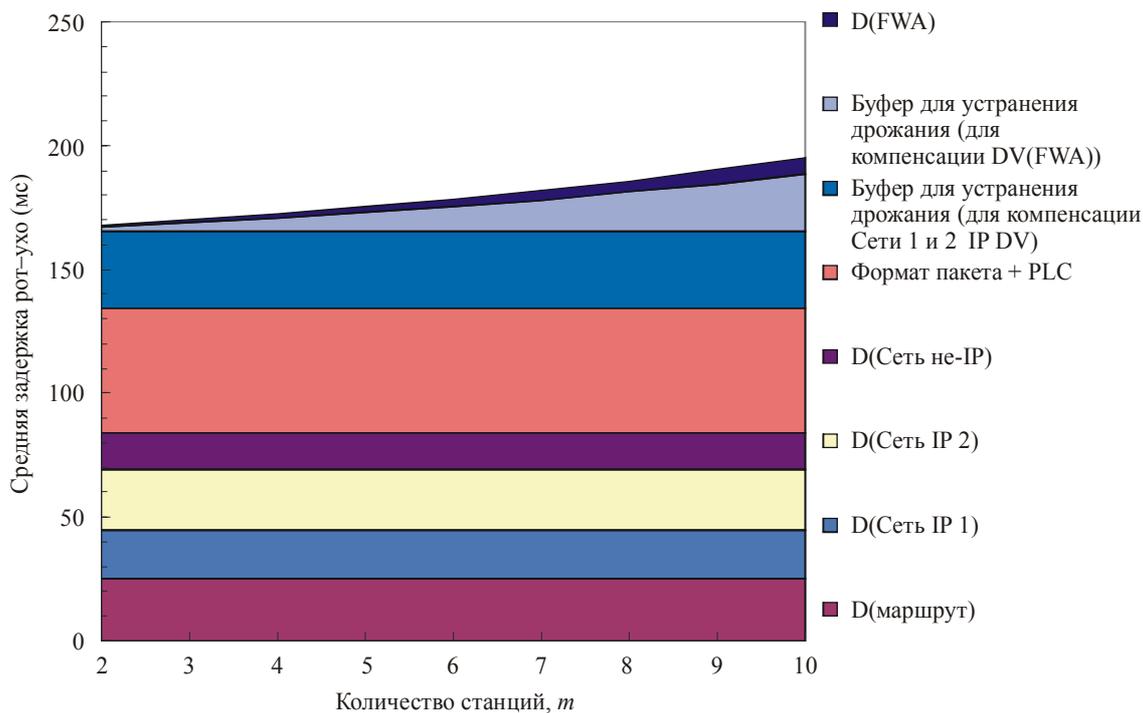
Значения  $A_{(S)}$ ,  $B_{(L)}$  и уравнения (13) и (14) приведены в Приложении 5.

Поэтому задержка,  $D(\text{общая})$  вычисляется следующим образом:

$$D(\text{общая}) \approx \frac{3}{2} A_{(S)} + \frac{B_{(L)}}{2} \left( \frac{2p_m}{1-p_m} - \frac{3}{\log p_m} - 1 \right) + 165 \text{ (или 155)}$$

На рис. 27 показан пример вычисленной задержки "рот-ухо", которая оказывает негативное влияние на передачу короткого пакета от  $m$ -й станции. Предполагается, что передача ведется в режиме 54М CSMA/CA. В ситуации, когда девять станций пытаются передать длинные пакеты, пакет VoIP от 10-й станции может иметь задержку длительностью около 200 мс.

РИСУНОК 27  
Пример средней задержки "рот-ухо"



Rap 2058-27

На рис. 27 отображен также каждый вклад в задержку на линии связи "рот-ухо". Вклад в задержку величиной 165 мс не зависит от характеристик FWA. В случае, когда  $m$  невелико, эта задержка в 165 мс становится доминирующим вкладом в задержку "рот-ухо". С другой стороны, при увеличении  $m$ , резко возрастают вклады в задержку, относящиеся к FWA. Относящиеся к FWA вклады состоят из:

- D(FWA): IPTD, наблюдающаяся на участке FWA, и
- D(Buff): Компонент "задержка при обработке" для компенсации DV(FWA) с помощью буфера устранения дрожания.

В этом примере D(Buff) больше по сравнению с D(FWA).

### 4.3 Пример расчета значения R

Как описано в п. 4.2, задержка "рот-ухо" зависит при определенных условиях от количества станций  $m$ , и очевидно, что значение  $R$ , определяемое Рекомендацией МСЭ-Т G.107, зависит от задержки "рот-ухо". Поэтому можно считать, что значение  $R$  зависит от  $m$ . С учетом описанных в п. 4.2 допущений пример связи между  $m$  и значением  $R$  показан для случая, когда вероятность случайной потери пакетов,  $Ppl$ , составляет 0; 0,1; 1,0 и 3,0%, соответственно. В таблице 15 перечислены следующие параметры: эффективный коэффициент ухудшения характеристик оборудования,  $Ie-eff$ , зависящий от потери пакетов и задаваемый с помощью коэффициента ухудшения характеристик оборудования,  $Ie$ ; коэффициент надежности при потере пакетов,  $Vpl$ , и  $Ppl$ .

Для расчета значения  $R$  требуются и другие параметры, для которых берутся значения по умолчанию в Рекомендации МСЭ-Т G.107. Здесь предполагается, что:

$$\text{Средняя односторонняя задержка } (T) = \text{Абсолютная задержка } (Ta) = \text{Круговая задержка } (Tr)/2.$$

Примеры результатов расчета показаны на рис. 28 (режим 54М) и рис. 29 (режим 24М). Если  $m$  невелико, уменьшение значения  $R$  для каждого режима почти одинаково. Однако при увеличении  $m$  значение  $R$  для режима 24М существенно снижается.

ТАБЛИЦА 15

Коэффициент ухудшения характеристик оборудования

Кодер	PLC	$I_e$	$V_{pl}$	$P_{pl}$ (%)	$I_{e-eff}$
G.711	G.711 Добавление I	0	25,1	0	0
				0,1	0,4
				1,0	3,6
				3,0	10,1
G.711	Нет	0	4,3	0	0
				0,1	2,2
				1,0	17,9
				3,0	39,0

В случае, если  $P_{pl}$  невелико, то есть около 0,1%, установлено, что для речевой связи может использоваться кодер без PLC, соответствующий Рекомендации МСЭ-T G.711. Однако в условиях потери большого количества пакетов потребуются применение маскирования PLC. При применении PLC ситуация со снижением значения  $R$  улучшается, и значение  $R$  поддерживается на уровнях выше 70%.

РИСУНОК 28

Пример расчетов значения  $R$  (CSMA/CA, режим 54М)

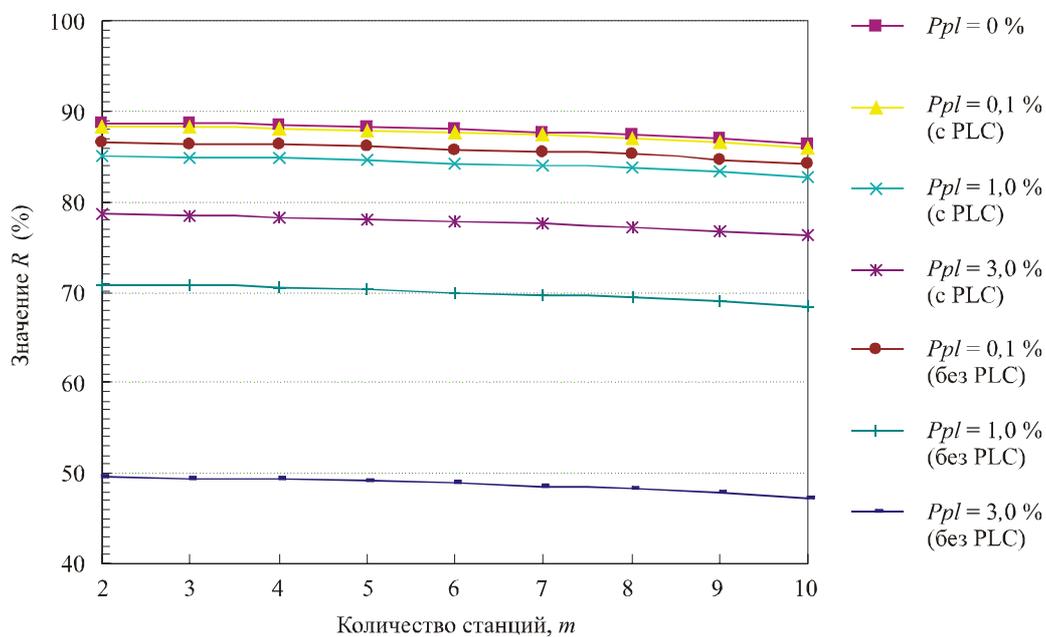
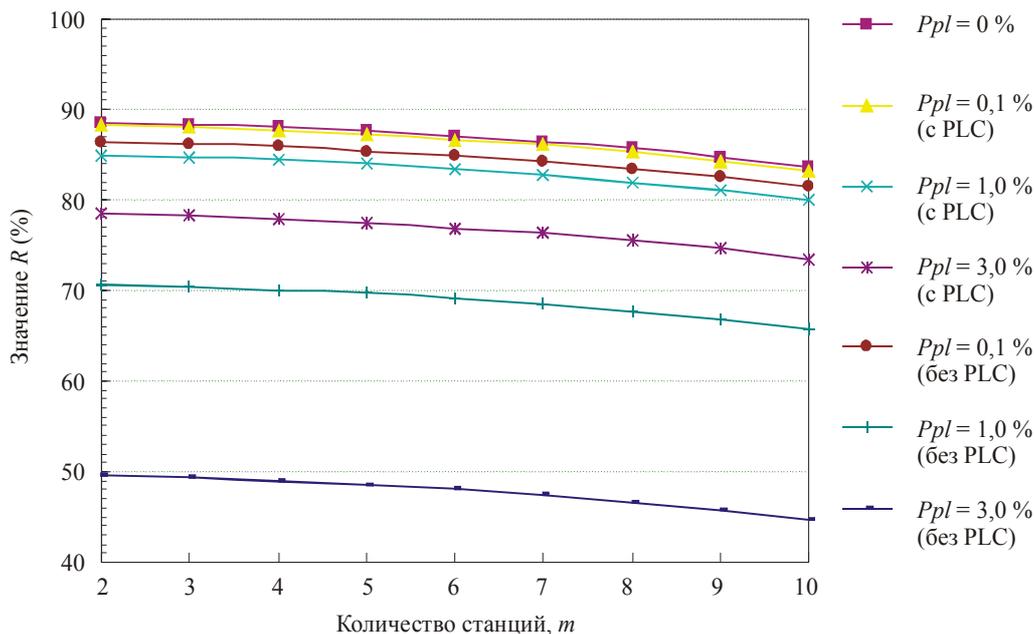


РИСУНОК 29

Пример расчетов значения  $R$  (CSMA/CA, режим 24М)

Rap 2058-29

## Приложение 6

## Методы повышения эффективности использования спектра

## 1 Введение

В системах на базе АТМ ячейки генерируются асинхронно. Если передача потока ячеек выполняется по широкополосным линиям передачи, вставляются пустые ячейки, как показано на рис. 30. В этом случае поддерживаются допустимые интервалы между ячейками и CDV. Однако в аспекте эффективности использования спектра для беспроводных систем этот метод непригоден. Повышению уровня эффективности использования спектра способствует изъятие пустых ячеек. В настоящем разделе представлены методы сохранения CDV, не требующие вставки пустых ячеек. Эти методы являются примерами различных возможных подходов.

Изъятие пустых ячеек имеет решающее значение для обеспечения эффективности использования спектра. Пустые ячейки должны рассматриваться как заполнение физического уровня для передачи в отсутствие реального материала для передачи. Изъятие пустой ячейки в любом случае не нарушает принципа, согласно которому ячейки АТМ должны передаваться пакетами, по длине не превышающими одной ячейки, поскольку передача ячеек АТМ пакетами, которые длиннее одной ячейки, создает неприемлемые задержки. Всякий раз, когда требуется формирование пакетов (как в восходящем канале системы со связью пункта со многими пунктами), необходимо, чтобы длина пакетов соответствовала длине одной ячейки.

Возможными методами, позволяющими избежать наличия пустых ячеек в радиостволе, являются следующие:

- статистическое мультиплексирование (если скорость передачи данных в радиостволе сопоставима со скоростью в интерфейсе по групповому спектру);
- назначение радиостволу значительно более низкой скорости передачи данных.

## 2 Статистическое мультиплексирование

Если применяется статистическое мультиплексирование (совместное использование физической среды передачи более чем одним соединением/станцией) и скорость передачи данных по радиостволу сопоставима (или незначительно ниже) со скоростью в интерфейсе по групповому спектру, возможно сократить потери, вызываемые наличием пустых ячеек, не прибегая к изменению задержки ячеек. Второе соединение/вторая станция будет использовать временные интервалы, не занятые первой станцией, и так далее. Рисунок 30 – это пример одного соединения: временные интервалы, оставшиеся незанятыми после изъятия пустых ячеек (помеченных символом "\*"), могут использоваться другими соединениями/станциями, работающими в данном радиостволе.

## 3 Снижение скорости передачи данных в радиостволе

Если скорость передачи данных в радиостволе существенно ниже скорости передачи данных в интерфейсе по групповому спектру в каждой оконечной станции, происходит потеря гранулярности в информации о местоположении ячеек; для восстановления этой информации могут использоваться методы, описанные ниже. Вероятно, необходимость в этом будет возникать только в случае значительного снижения скорости передачи данных (более чем в 10 раз) и высокого уровня "прерывистости" соединения (длинные пакеты при максимальной скорости передачи ячеек (PCR), за которыми следуют длинные периоды молчания). Можно также отметить, что согласованная PCR не должна превышать скорости передачи данных в радиостволе (это отслеживается через контроль и допуск соединения), и при этом условии проблема не возникает. Если желательно разрешить, чтобы PCR превышала скорость передачи данных в радиостволе, могут использоваться нижеперечисленные методы, которые приведены в качестве примеров.

Если скорость передачи данных в радиостволе значительно ниже скорости передачи в интерфейсе по групповому спектру, пустые ячейки удаляются на передающей стороне, но должны быть вставлены обратно в приемнике. На приемной стороне могут использоваться два метода восстановления пустых ячеек.

### а) Постоянный интервал

Данным методом предусматривается сохранение неизменным допустимого интервала между ячейками на приемной стороне, как показано на рис. 31. Этот метод пригоден для CBR с постоянным интервалом между ячейками и нерегламентированной скоростью передачи данных (UBR), которая действует независимо от CDV. Преимуществом метода является простота функции управления. С другой стороны, недостатком является ухудшение качества работы из-за CDV в услуге VBR.

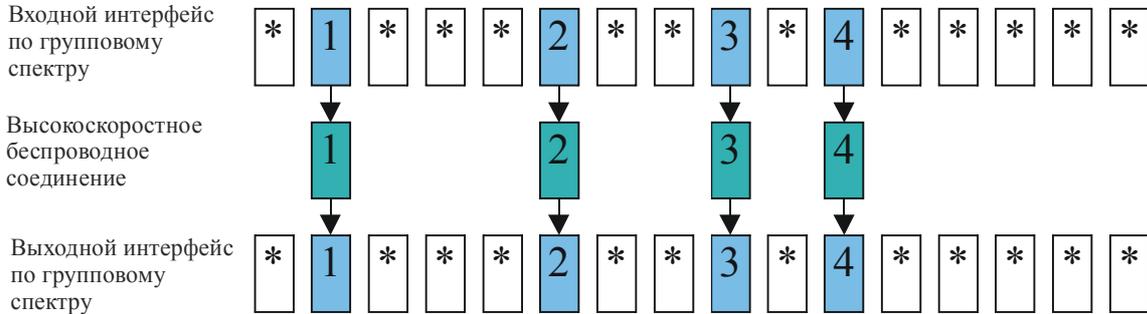
### б) Метка времени

Этот метод заключается в создании информации для синхронизации согласно временному интервалу каждой ячейки и присвоении этой информации ячейке в качестве метки на стороне передатчика, как показано на рис. 32. На стороне приемника в соответствии с этими метками времени точно соблюдаются интервалы между ячейками. Преимуществом данного метода является поддержание CDV. Недостатком – снижение эффективности передачи вследствие наличия дополнительных байтов, требуемых для передачи меток времени, и дополнительной задержки, требуемой для обработки неустойчивости CDV (величина дополнительной задержки связана с отклонениями CDV и максимальной длиной пакета в интерфейсе по групповому спектру и, следовательно, не поддается простому определению).

РИСУНОК 30

**Высокоскоростное беспроводное соединение с длиной пакетов, соответствующей длине одной ячейке, и статистическим мультиплексированием**

\* = Пустые ячейки. В беспроводном соединении для других соединений используются пустые временные слоты (статистическое мультиплексирование)

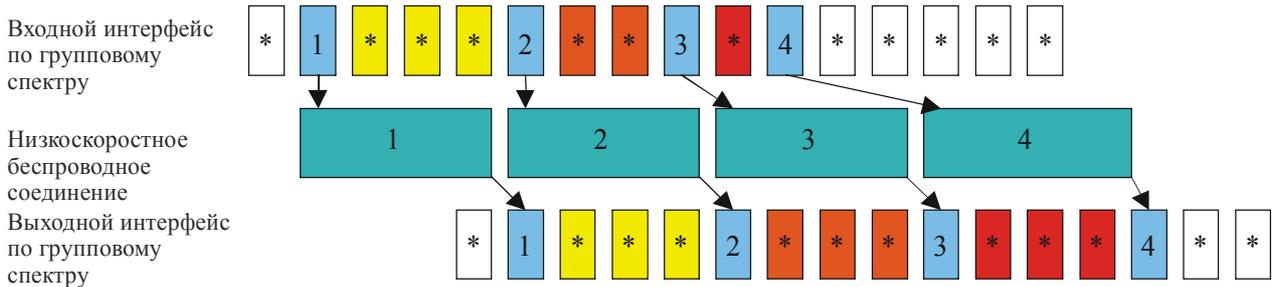


Rap 2058-30

РИСУНОК 31

**Низкоскоростное беспроводное соединение с длиной пакетов, соответствующей длине одной ячейке, и без установления меток времени (CDV не поддерживается)**

\* = Пустые ячейки

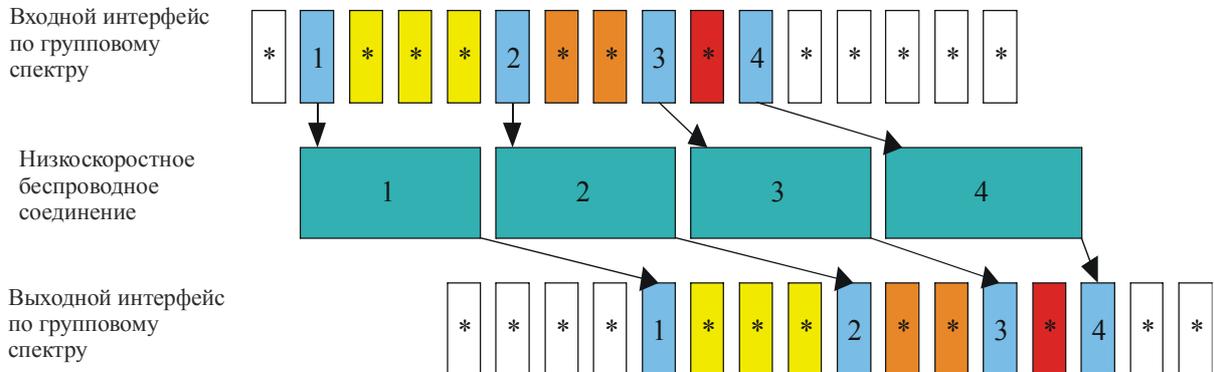


Rap 2058-31

РИСУНОК 32

**Низкоскоростное беспроводное соединение с длиной пакетов, соответствующей длине одной ячейке, и с установлением меток времени (CDV поддерживается)**

\* = Пустые ячейки



Rap 2058-32

## Приложение 7

### Методы исправления ошибок в системах FWA, базирующихся на ATM

#### 1 ARQ для системы FWA, базирующейся на ATM

##### 1.1 Введение

ARQ – это один из методов исправления ошибок. Для ARQ необходим код обнаружения ошибок и порядковый номер каждой ячейки. Номера ячеек генерируются согласно порядку следования ячеек и добавляются к каждой действительной ячейке на передающей стороне. Если действительная ячейка потеряна, приемник направляет передающей стороне запрос на повторную передачу потерянной ячейки. После повторной передачи ячейки перестраиваются согласно порядковым номерам.

Такой ARQ эффективен для услуг не в реальном масштабе времени. Но в случае услуг в реальном масштабе времени время задержки создает проблему. Одним из решений является ограничение использования ARQ услугами не в реальном масштабе времени. Однако стратегия быстрого ARQ с ограниченным количеством повторений может применяться для услуг в реальном масштабе времени.

Следует оценить ARQ по сравнению только с FEC или комбинацию этих двух методов.

Основным недостатком ARQ с ATM является наличие задержки; во избежание CDV в приемнике должна добавляться фиксированная задержка, равная максимальному времени повторной передачи (или времени для максимального количества повторных передач).

В системе ATM обычно обеспечиваются услуги, имеющие жесткие требования к величине задержки, и услуги, менее чувствительные к задержке; также следует принимать во внимание требования к потерям ячеек.

Рабочая группа по беспроводному ATM ассоциации "Форум ATM" предлагает следующие параметры в качестве наиболее жестких требований<sup>1</sup>:

	Услуги в реальном масштабе времени	Услуги не в реальном масштабе времени
CLR	$10^{-7}$	$10^{-9}$
Задержка	10 мс	500 мс или больше

Возможны два варианта: определить стратегию быстрого ARQ на всем трафике или ввести ARQ только для услуг не в реальном масштабе времени.

Вариант ограничения использования ARQ только услугами не в реальном масштабе времени означает, что радиоствол должен быть отрегулирован (передаваемая мощность и производительность FEC) так, чтобы обеспечивать коэффициент потери ячеек меньше  $10^{-7}$  без ARQ; использование ARQ для услуг не в реальном масштабе времени позволяет уменьшить CLR услуг не в реальном масштабе времени до требуемого значения  $10^{-9}$ , которое соответствует усилению в 0,5–1 дБ (по гауссовскому каналу), следовательно, этот способ дает лишь незначительное преимущество (того же усиления можно добиться, незначительно увеличив мощность или длину FEC) и, кроме того, является сложным.

Ограниченный ARQ может также привести к ситуации, когда система окажется неработоспособной для случая CBR и работоспособной для случая UBR. Это одна из основных причин, по которым возникают сомнения относительно практичности повторной передачи, являющейся медленной и селективной по типу услуги.

Рекомендуется в качестве необязательного варианта рассматривать ARQ с быстрым селективным повтором, обеспечивающий возможность повторной передачи всех типов трафика, особенно для каналов, пораженных пакетными ошибками (тех, в которых преобладают затухание и помехи);

<sup>1</sup> ATM Forum Baseline Text for Wireless ATM specification, February, 1998 (ATM Forum BTD-WATM-01.06).

определение максимального числа повторных передач и значения максимальной задержки на повторную передачу (что, в принципе, может быть другим соединением, и может составлять 0 = нет повторных передач) позволит обеспечивать соединения, в отношении которых действуют разные требования.

Следует прилагать все возможные усилия к тому, чтобы сделать повторную передачу максимально быстрой, с тем чтобы обеспечить обработку ARQ максимально возможного числа соединений.

Можно показать, что в случае гауссовского канала преимущества ARQ становятся ограниченными по сравнению с FEC с такой же длиной служебной нагрузки (или более длинной FEC, если используется в сочетании). ARQ является мощным средством в условиях пакетных ошибок. На более низких частотах (в первую очередь для подвижного, но также и для фиксированного доступа) возникают промышленный шум, помехи и затухание вследствие многолучевого распространения, поэтому пакетные ошибки здесь – обычное явление. На более высоких частотах вышеуказанные виды шумов не возникают, и поэтому они, как правило, рассматриваются как белый гауссовский шум.

ARQ следует рекомендовать (в качестве необязательной опции) для более низких, но не для высоких (выше 18 ГГц) частот.

Особое внимание следует уделять реализации ARQ в системах с TDD (как для P-MP, так и для P-P); поскольку он вызывает большие задержки (в восходящем и нисходящем направлениях предусмотрены кадры, превышающие по длине одну ячейку ATM, и, следовательно, подтверждение и повторная передача всегда задерживаются на время длины кадра). Рекомендуется рассматривать ARQ в системах с TDD только в случае необходимости.

## 1.2 Сравнение различных подходов к реализации ARQ

В целом существуют два метода ARQ – метод "возвращение-на-N" (GBN) и метод селективного повтора (SR). Схемы GBN и SR показаны на рис. 33 а) и б), соответственно. В рамках GBN приемник сообщает передатчику порядковый номер первой ячейки с ошибками как NAK, после этого передатчик выполняет повторную передачу потока ячеек, начиная с ячейки, помеченной как NAK. В рамках SR приемник по получении NAK повторяет передачу только ячейки с ошибками.

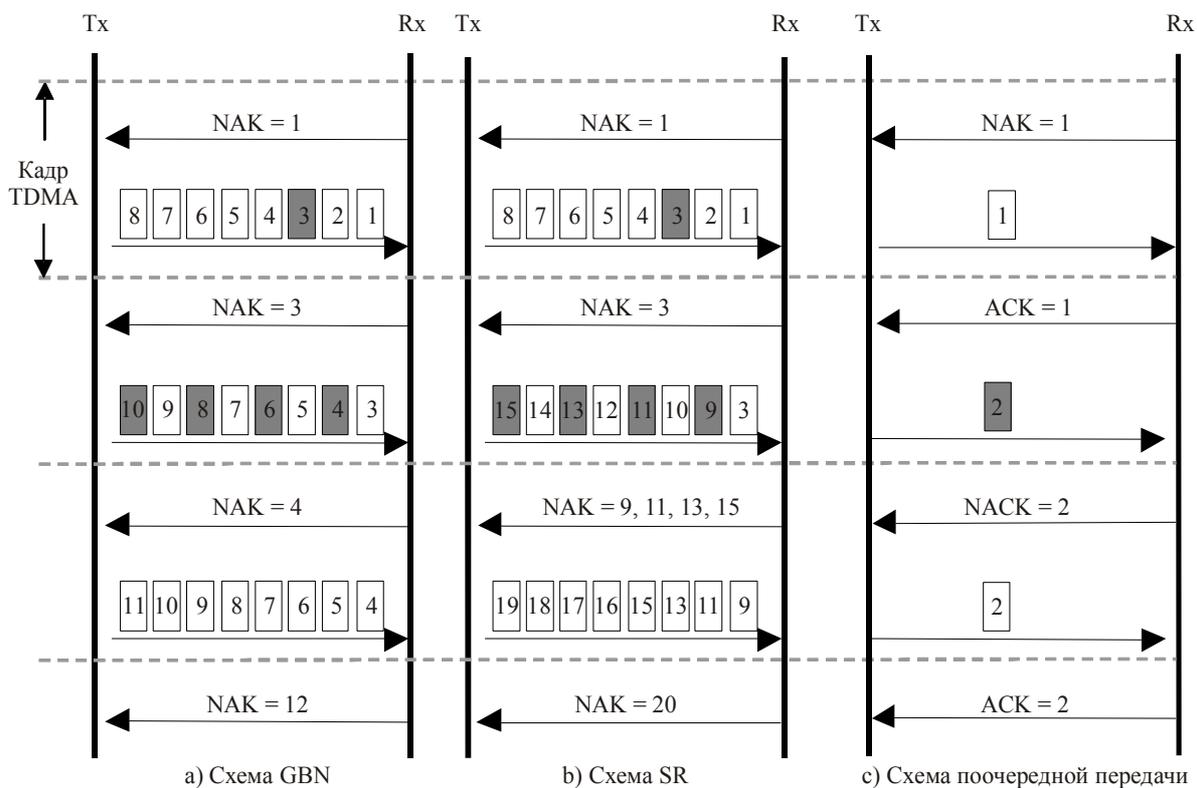
Наряду с этими двумя методами возможно применять метод, согласно которому передатчик получает от приемника подтверждение успешного приема ячеек поочередно и не передает следующие ячейки, до тех пор пока предыдущие ячейки не достигнут приемника (см. рисунок 33 с)). В аспекте эффективности использования спектра этот метод непригоден для систем FWA, использующих ATM.

Для SR требуется более сложный контроль ARQ по сравнению с GBN, но этот метод характеризуется более высокой эффективностью. На рис. 34 показаны характеристики эффективности передачи по методу GBN в случае формата кадра на базе TDMA и при предположении случайной ошибки. Производительность SR соответствует производительности GBN при  $N_{output} = 1$  и не зависит от  $N_{output}$ , где  $N_{output}$  показывает количество ячеек, переданное в период ARQ (то есть в течение кадра TDMA). При таком расчете не накладывается ограничений на количество повторов. В передатчике предполагается неограниченная емкость буфера, а объем передачи информации АСК для простоты игнорируется. Вместе с тем, если вместо случайных ошибок происходят, как правило, пакетные ошибки, разница между этими двумя методами становится менее значительной. Как показано на рис. 34, при условии высокого BER характеристики передачи по методу GBN существенно ухудшаются по сравнению с характеристиками передачи по методу SR. Следовательно, метод SR является предпочтительным для ARQ.

## 1.3 Методы отправки уведомлений об ошибке от приемника к передатчику

Как правило, по методу SR предусматривается, что приемник сообщает передатчику АСК порядковых номеров данных (в данном случае – ячеек), которые достигли приемника. Информация АСК для всех переданных ячеек, однако может иметь значительный объем в беспроводных системах с ATM, которые обсуждаются в настоящем документе, в силу большого числа ячеек, обрабатываемых ARQ. В этом случае информация АСК занимает большую часть ширины полосы канала. Следовательно, в аспекте эффективности использования спектра желательным является метод, при котором приемник сообщает передатчику подтверждения NAK, указывающие ячейки, еще не полученные приемником (при том допущении, что частота повторных передач менее 1%, то есть, что NAK передается лишь через каждые 100 ячеек).

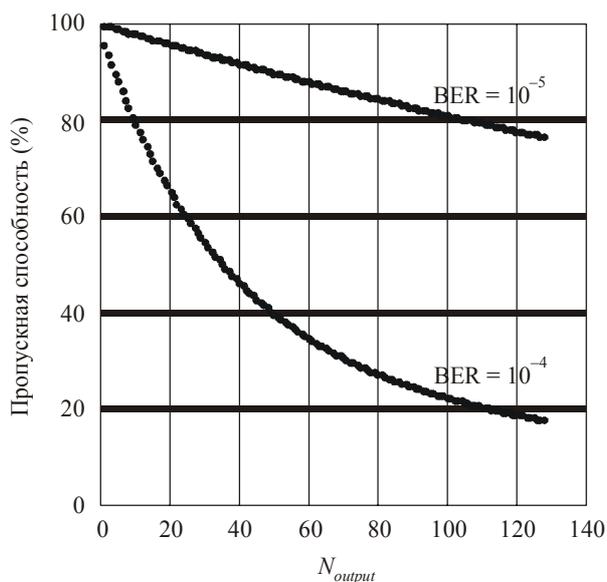
РИСУНОК 33  
Основные схемы ARQ



Rap 2058-33

РИСУНОК 34

Взаимосвязь между  $N_{output}$  и производительностью GBN<sup>2</sup>



Rap 2058-34

<sup>2</sup> ОНТА, А. *et al.* [May 1998] PRIME ARQ: A Novel ARQ Scheme for High-speed Wireless ATM – Design, implementation and performance evaluation, VTC'98, p. 1128-1134.

Использование NAK (без ACK) для уменьшения трафика подтверждений необходимо пояснить: подтверждение NAK для ячейки 2 может быть создано только после приема ячейки 3; если NAK потеряно или потеряна первая повторная передача, приемник должен повторить NAK после некоторого тайм-аута. Этот тайм-аут может быть сокращен, если подтверждениям NAK и повторным передачам присвоить наивысший приоритет.

При выборе использования только NAK необходимо решить еще одну проблему: передатчик должен хранить ячейку в буфере, до тех пор пока не удостоверится, что NAK не будет получен. К сожалению, учитывая вероятность потери NAK, это означает, что ячейка должна сохраняться, пока не истечет (длительный) тайм-аут. Тайм-аут должен превышать по длительности максимальное время повторной передачи или время, необходимое для максимального числа повторных передач. Такой же буфер (и, следовательно, фиксированная задержка) должен быть предусмотрен в приемнике, с тем чтобы обеспечить восстановление без введения CDV.

Невзирая на вышеизложенное, трафик подтверждений, особенно в потоках связи Р-МР в восходящем направлении, представляет серьезную проблему, и использование подтверждений NAK является хорошим решением этой проблемы, даже при некоторых присущих этому методу недостатках. Еще один способ заключается в применении метода кумулятивного подтверждения. Этот метод обладает средней (между методом "возвращение-на-N" и методом селективного повтора) производительностью, но сочетает в себе преимущество небольшого объема трафика подтверждений с меньшими по емкости буферами.

#### 1.4 Предотвращение избыточного повторения

Беспроводный АТМ применяется для нескольких типов услуг, и каждая из них накладывает различные требования в отношении КО. Требуемое качество услуг в реальном масштабе времени, таких как CBR и rt-VBR (VBR реального времени) в беспроводных системах на базе АТМ, определяется рядом организаций по стандартизации. В ассоциации "Форум АТМ" требуемые значения CTD и CLR для худшего случая CBR или rt-VBR считаются равными 10 мс и  $10^{-7}$ , соответственно. Кроме того, согласно Рекомендации МСЭ-T I.356, CLR должен быть меньше  $10^{-8}$  для наиболее высокого класса. Для расширения сферы применения до FWA желательно, чтобы CLR мог соответствовать вышеуказанным параметрам качества в условиях беспроводной связи с большим количеством ошибок путем коррекции ошибок с использованием FEC и/или ARQ.

Для услуг в реальном времени допустимое время задержки меньше, как указано выше. Чрезмерная отработка ARQ по допустимому времени задержки более не имеет смысла. Следовательно, приемник должен контролировать количество повторений или время задержки, и если одно из них превысит допустимое значение, приемник должен прекратить выработку подтверждений NAK (передатчик также будет сбрасывать ячейку из своего буфера после такого же по величине тайм-аута).

## 2 Исправление ошибок при передаче ячейки на базе АТМ

### 2.1 Общие соображения

В случае FWA с переносом ячеек АТМ должны выполняться характеристики качества работы на уровне АТМ, а также характеристики качества работы на физическом уровне. Взаимосвязь между характеристиками качества работы на обоих уровнях исследуется в настоящее время в рамках Вопроса МСЭ-R 210/9. В частности, необходимо спроектировать системы, которая удовлетворяла бы показателю SESR, определенному в Рекомендации МСЭ-T G.826, а также показателям CLR или CER, определенным в Рекомендации МСЭ-T I.356.

### 2.2 НЕС по сравнению с FEC и воздействие дифференциального кодирования

При транспортировании ячеек на базе АТМ проверка ошибок в заголовке (НЕС) обычно применяется к части, содержащей заголовок. Таким образом, в содержащей заголовок части может быть исправлена однобитовая ошибка, результатом чего является значительно меньшее итоговое значение потерянных ячеек (LCO) и неверно вставленных ячеек.

Вместе с тем следует заметить, что НЕС неэффективна в случае применения при FWA дифференциального кодирования, при котором одна ошибка кода вызывает ошибки в двух последовательных битах. Это может привести к тому, что НЕС станет неэффективной, и, таким образом, ухудшатся показатели качества CLR и CMR системы. Следует также отметить, что НЕС, вероятно, не обладает достаточной мощностью для большинства приложений беспроводной связи, и для проверки всей ячейки АТМ следует добавить более мощную FEC.

FEC применяется в качестве метода коррекции QoS всей ячейке АТМ и, как правило, способна исправлять многократные ошибки. Если применяется этот метод коррекции, решается проблема дифференциального кодирования. Кроме того, НЕС становится избыточной при введении FEC и может быть удалена. Легко можно проверить, что удлиненная на один байт FEC всегда мощнее комбинации FEC+НЕС.

Это предполагает, что следует применять FEC и удалять НЕС всегда, когда это допустимо. Если не применяется FEC и используется дифференциальное кодирование, применяется описанный ниже метод обеспечения функционирования НЕС в условиях дифференциального кодирования.

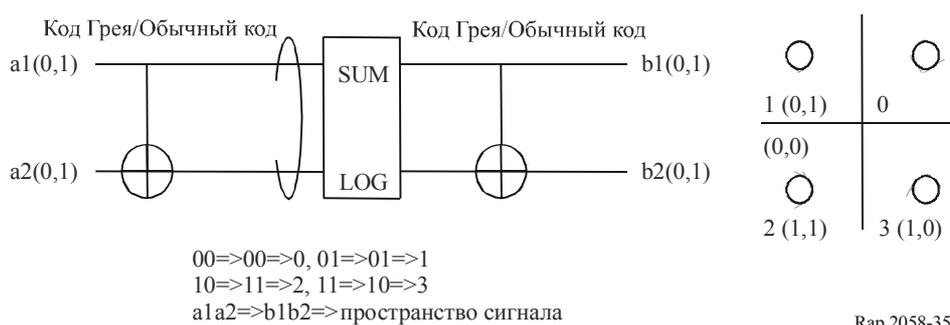
### 2.3 Пример способа предупреждения воздействия дифференциального кодирования в случае, когда применяется НЕС без FEC

Несмотря на то, что для некоторых цифровых трактов дифференциальное кодирование не требуется, существует много других случаев применения дифференциального кодирования. В целях предотвращения распространения ошибки в пределах одной ячейки потребуется адаптация одного из методов побитовой обработки сигнала во входных потоках ячеек АТМ. Ниже представлен пример такого метода.

Дифференциальное кодирование используется, как правило, в целях исключения неопределенности фазы восстановленной несущей. В такой системе модулирующий сигнал отображается в пространстве сигнала в соответствии с суммой двух последовательных сигналов. На стороне приемника вычисляется разность между принимаемым сигналом и предыдущим сигналом. Суммирование и дифференцирование выполняются с использованием логического алгоритма по модулю 4. Даже если неопределенность составляет 90°, она исключается, поскольку восстановленные несущие двух соседних сигналов имеют одинаковую фазу. Эти взаимосвязи показаны на рис. 35.

РИСУНОК 35

#### Дифференциальное кодирование



Вместе с тем, если используется дифференциальное кодирование, появление битовой ошибки в принимаемом сигнале может распространиться на два последовательных временных слота, как показано на рис. 36.

РИСУНОК 36

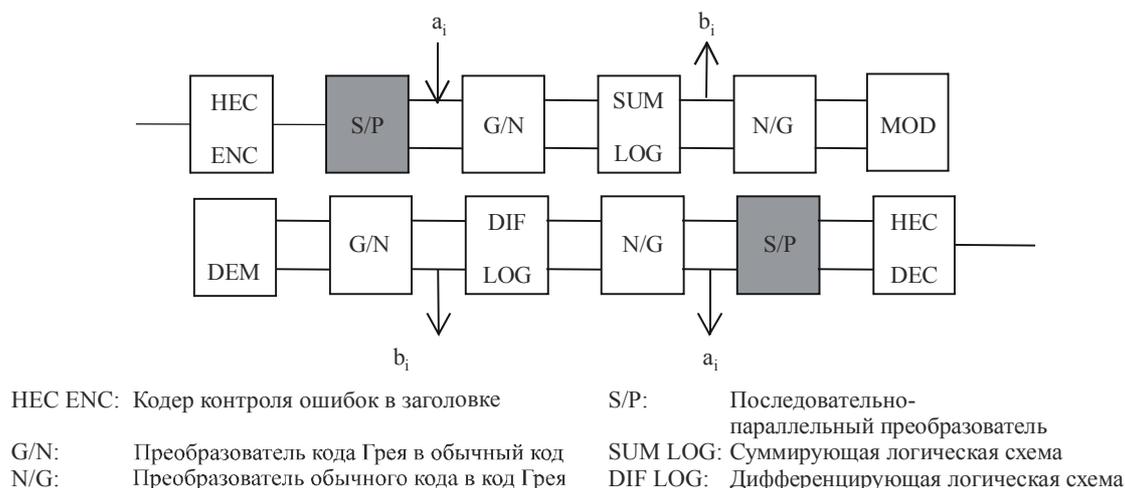
#### Последовательная ошибка вследствие дифференциального кодирования

$b_1$  000X000  $\Rightarrow$   $a_1$  000X000 или 000XX00 или 0000X00 или 0000000  
 $b_2$  0000000  $\Rightarrow$   $a_2$  0000X00 или 0000000 или 000X000 или 000XX00

X: ошибка, O: нет ошибки

С другой стороны, контроль на базе НЕС выполняется в заголовке ячейки АТМ. Обработка НЕС осуществляется за пределами процесса дифференциального кодирования, как показано на рис. 37, и затрагивается вышеупомянутой последовательной ошибкой вследствие дифференциального кодирования. Поскольку НЕС использует такую функцию исправления ошибок для однобитовой ошибки и функцию обнаружения ошибки для более чем одной битовой ошибки, результат коррекции ошибок будет существенно ухудшен при наличии вышеупомянутых последовательных ошибок вследствие дифференциального кодирования.

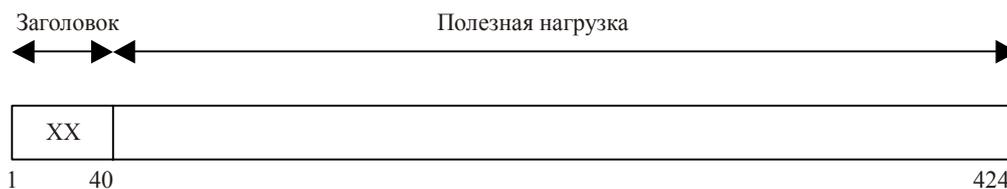
РИСУНОК 37  
Процесс НЕС для ячейки АТМ



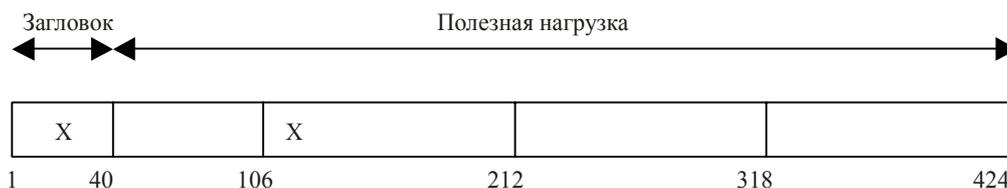
Rap 2058-37

Для предупреждения ухудшения НЕС эффективным является чередование битов, как показано на рис. 38. Процесс чередования битов разбивает последовательные биты внутри ячейки на заголовок и полезную нагрузку. Таким образом на заголовок и полезную нагрузку будут разбиты последовательные биты с ошибками, что приведет к наличию однобитовой ошибки в заголовке и повысит вероятность успешной коррекции ошибок. На рис. 38 ячейка разбита на четыре при допущении использования дифференциально кодированной QPSK.

РИСУНОК 38  
Чередование битов в пределах ячейки АТМ



Сигнальная последовательность 1, 107, 213, 319, 2, 108, 214, 320



Rap 2058-38