

## РЕКОМЕНДАЦИЯ МСЭ-R М.1741\*

**Методика установления требуемых рабочих характеристик и ее оптимизация для пакетных приложений IP в подвижной спутниковой службе**

(Вопросы МСЭ-R 85/8, МСЭ-R 87/8, МСЭ-R 112/8 и МСЭ-R 233/8)

(2006)

**Сфера применения**

В настоящей Рекомендации предлагается методика установления требуемых рабочих характеристик и ее оптимизация для пакетных приложений IP в подвижной спутниковой службе. Указания по рабочим параметрам и требуемым характеристикам для физического уровня и уровня протокола управления доступом (MAC – Medium Access Control), методика установления требуемых рабочих характеристик, а также указания по оптимизации рабочих характеристик протокола TCP (Transmission Control Protocol – протокол управления передачей) для пакетных приложений IP в подвижной спутниковой службе содержатся, соответственно, в Приложениях 1, 2 и 3 к данной Рекомендации.

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

*учитывая,*

- a) что пакетная передача на основе протокола Интернет (IP) стала одним из основных способов передачи данных в современных сетях связи, включая подвижные спутниковые системы;
- b) что номинальные эталонные цепи, технические параметры, рабочие характеристики и требования к готовности уже были оговорены для стандартных подвижных спутниковых служб (ПСС) в нескольких существующих Рекомендациях;
- c) что технические параметры и рабочие характеристики должны быть определены на основе пакетных уровней IP-протокола в дополнение к основным рабочим характеристикам канала цифровой передачи данных для ПСС;
- d) что в Рекомендации МСЭ-R М.1636 приведены определения для эталонных моделей и рабочих характеристик в качестве технической основы для разработки пакетных приложений IP в ПСС;
- e) что необходимы указания к требуемым рабочим характеристикам физического и канального уровней систем ПСС, обслуживающих пакеты IP, вместе с методикой установления требуемых рабочих характеристик пакетной передачи IP, для обеспечения эффективного использования системой ресурсов частотного спектра;
- f) что протокол управления передачей (TCP) является одним из самых широко распространенных транспортных уровневых IP-протоколов и требует особого внимания к вопросу оптимизации рабочих параметров, если применяется в системе с большой задержкой передачи, такой как линия связи ПСС,

*рекомендует,*

- 1 чтобы указания к требуемым рабочим характеристикам, содержащиеся в Приложении 1, применялись к пакетной передаче IP в ПСС;
- 2 чтобы методика, изложенная в Приложении 2, применялась к установлению рабочих характеристик пакетных приложений IP в ПСС;
- 3 чтобы указания, приведенные в Приложении 3, учитывались в том случае, когда определены рабочие параметры TCP-протокола для пакетной передачи IP в ПСС.

\* Настоящая Рекомендация должна быть доведена до сведения 4-й Исследовательской комиссии по радиосвязи и 13-й Исследовательской комиссии по стандартизации электросвязи.

## Приложение 1

### Указания к требуемым рабочим характеристикам для пакетной передачи IP в ПСС

#### 1 Введение

Для обеспечения допустимости и необходимой обработки параметров спутниковой линии связи (таких, как большая задержка передачи, переменная частота появления ошибок, периодические сбои связи) оконечные устройства в ПСС предъявляют несколько требований к рабочим характеристикам в зависимости от используемых протоколов. Рассматриваемые протоколы, работающие с пакетной передачей IP через спутниковую линию связи, включают в себя физический уровень (PHY) и уровень протокола управления доступом к среде передачи (MAC). В данном разделе определены параметры и рабочие характеристики уровней PHY и MAC, соответствующие рабочим характеристикам пакетной передачи IP через линию связи ПСС.

#### 2 Физический уровень (Уровень 1)

##### 2.1 Пакетный канал многостанционного доступа

Радиоканалы и их ресурсы обычно используются разным количеством подвижных спутниковых оконечных устройств для соединения со спутниковым шлюзовым доступом через линию связи ПСС для обеспечения пакетной передачи IP. Механизмы совместного использования радиоканалов и их ресурсов для пакетного многостанционного доступа представляют собой сочетание технологий. Одним из возможных методов управления ресурсами для подвижных спутниковых оконечных устройств с целью доступа к радиоканалам является использование каналов в прямом направлении на основе уплотнения с временным разделением каналов (TDM) и в обратном направлении на основе многостанционного доступа с временным разделением каналов (TDMA). В этом случае каждый спутниковый шлюзовый доступ координирует группу каналов прямой (to-mobile) и обратной (from-mobile) связи. Кроме того, спутниковые оконечные устройства могут поддерживать одну и более пару передачи/приема.

Многостанционный доступ с временным разделением каналов (TDMA) для физического уровня требует определенных поэтапных протоколов передачи, которые подробно описаны в § 4.4.

##### 2.2 Функции физического уровня

Физический уровень отвечает за передачу потока двоичных сигналов через спутниковый канал связи и выполняет следующие функции:

*Для передатчика:*

- кодирование, шифрование и чередование;
- модуляция закодированного потока двоичных сигналов;
- передача модулированного сигнала на мультиплексированный канал.

*Для приемника:*

- прием модулированного сигнала;
- демодуляция сигнала в поток закодированных двоичных сигналов;
- декодирование, дешифровка и противоположное чередование.

На физическом уровне полный кадр передается вместе с информацией об измеренных параметрах спутникового сигнала, таких как синхронизация и уровень мощности.

### 3 Уровень протокола управления доступом (Уровень 2)

На уровне протокола управления доступом (MAC) осуществляется контроль за выходом на физический уровень (ресурсы каналов) каждым соединением, а также устанавливается и обеспечивается соединение для пакетной передачи IP через канал связи ПСС. MAC-уровень выполняет следующие функции:

- задание адреса физического устройства или логического соединения, планирование ресурсов передачи информации между этими объектами в прямом и обратном направлениях на пакетный мультиплексный канал;
- упаковка и распаковка IP-пакетов в кадры MAC, включая сегментацию и повторную сборку по требованию;
- буферизация и управление потоками информации с верхних уровней (например, на IP-уровне);
- автоматический запрос на повторение (ARQ) (если требуется особое соединение, чувствительное к ошибкам).

### 4 Указания по проектированию системы пакетной передачи данных IP в ПСС, которая может влиять на рабочие характеристики сетевого уровня (Уровень 3) и более высоких уровней

В настоящем подразделе описываются рабочие характеристики и приводятся соответствующие рекомендации для системы проектирования физического и MAC-уровней для пакетной передачи IP в ПСС, которая может влиять на рабочие характеристики пакетной передачи IP через канал связи ПСС.

#### 4.1 Коэффициент ошибок по битам

Коэффициент ошибок по битам (BER) для канала связи ПСС можно вывести из конструкции канала связи ПСС, который зависит от параметров физического уровня канала связи, таких как модуляция и схема кодировки ошибок, передаточная способность и энергетический запас линии связи, чувствительность приемного устройства и т. д. В таблице 1 приведен пример параметров коэффициента ошибок по битам для несущего канала со скоростью передачи 64 кбит/с.

ТАБЛИЦА 1

Пример параметров коэффициента ошибок по битам (BER)

Канал	Демодулятор BER оконечного устройства ПСС	Демодулятор BER шлюза ПСС	Период измерений
64 кбит/с	$\leq 10^{-6}$	$\leq 10^{-6}$	1500 с

Значения в таблице 1 измерены после установления синхронизации сигнала. Во время измерения данных учитывались такие возможные причины ухудшения BER, как фазовый шум, выпадение из синхронизации, проскальзывание синхронизирующего или тактового импульса и проскальзывание цикла, но не принималось в расчет любое ухудшение характеристик, вызванное сцеплением пакетов в связи с многолучевым замиранием, блокировкой, экранированием или влиянием соседнего канала.

#### 4.2 Буферизация и управление потоками

Перед передачей через пакетный канал многостанционного доступа физического уровня IP-пакеты, поступающие с высших уровней (т. е. с сетевого уровня IP), буферизуются на MAC-уровне, на подуровне соединения. Механизм контроля и размер буфера влияют на рабочие характеристики пакетной передачи IP. Например, если размер буфера достаточно большой, снижается риск потери пакета вследствие переполнения буфера, в то же время задержка из-за буферизации может увеличиваться, если объем буфера слишком большой. Таким образом, необходимо тщательно

выверить механизм контроля буфера и его размер с учетом компромисса между потерями и задержки пакетной передачи IP.

### 4.3 Автоматический запрос на повторение (ARQ)

MAC-уровень обеспечивает надежную передачу пакета, посредством этого информация доставляется последовательно и без ошибок за счет увеличения задержки передачи. Механизм поддержки автоматического запроса на повторение также должен быть выбран таким образом, чтобы сбалансировать количество ошибок передачи и параметры задержки.

### 4.4 Планирование

Планирование – это процесс распределения ресурсов пакетного канала многостанционного доступа для каждого соединения, которое обеспечивается спутниковым шлюзом. Простой метод распределения ресурсов – принцип "первым пришел – первым обслужен" (FIFO), в котором ни у одного соединения нет преимущества перед остальными. Для дифференциации преимущества каждого соединения планирование может быть основано на качестве параметров обслуживания каждого соединения.

Кроме того, для определения преимущества передачи данных в процессе планирования может использоваться статус очередности для других соединений.

## Приложение 2

### Методика установления требуемых рабочих характеристик для пакетной передачи IP в ПСС

#### 1 Введение

Для пакетных приложений IP основные определения рабочих характеристик и требований к ним представлены в Рекомендациях МСЭ-T Y.1540 и Y.1541, соответственно. Для пакетной передачи данных IP с использованием ПСС главные компоненты таких рабочих характеристик определяются сквозным каналом связи ПСС. С учетом свойств и рабочих характеристик каналов связи ПСС, указанных в предыдущем разделе, в настоящем разделе суммируются некоторые возможные методики установления требуемых рабочих характеристик пакетной передачи IP через каналы ПСС. В данном разделе канал связи ПСС или спутниковое подразделение относится к спутниковой линии связи между спутниковыми оконечными устройствами доступа как на подвижных, так и на земных станциях межсетевого сопряжения через спутник в соответствии с рисунками 1 и 2 Рекомендации МСЭ-R М. 1636.

#### 2 Коэффициент ошибок в пакете IP

В Рекомендации МСЭ-T Y.1540 коэффициент ошибок в пакете IP (IPER) определен как отношение количества всех пакетов, содержащих ошибки, к общему количеству пакетов, переданных как успешно, так и с ошибками. Пакет определяется ошибочным в том случае, когда двоичное содержание полей доставленного пакета информации не полностью соответствует содержанию полей изначального пакета или что одно или более полей заголовка доставленного пакета повреждены.

Теоретически возможно установить коэффициент ошибок в пакете IP, вызванных передачей ошибочных пакетов через линию связи ПСС, учитывая рабочие характеристики цифровой передачи, оговоренные для линий ПСС. Если предполагается наличие случайной ошибки, коэффициент ошибок в пакете IP, представляющий собой вероятность того, что по меньшей мере один бит информации поврежден, может быть статистически выведен по формуле:

$$IPER=1-(1-BER)^{Packet\_size \times 8}, \quad (1)$$

где:

*BER*: коэффициент ошибок по битам после применения возможных схем упрещающей коррекции ошибок (FEC)

*Packet\_size*: размер пакета IP в байтах, переданный по линии связи ПСС.

Например, в Рекомендации МСЭ-R М.1476 оговорено, что требуемые рабочие характеристики для ПСС, являющейся частью цифровой сети с интеграцией служб (ISDN), определяют величину коэффициента ошибок по битам менее чем  $9 \times 10^{-7}$ . Если размер IP-пакета составляет 1500 байт, коэффициент ошибок в IP-пакете для системы, соответствующей Рекомендации МСЭ-R, будет составлять  $1 \times 10^{-2}$ .

Обычно предполагается, что между сокращением количества пакетных ошибок и сокращением задержки передачи будет достигнут баланс. Подобный баланс зависит от конструкции системы.

Для приложений, чувствительных к ошибкам, в Рекомендации МСЭ-T Y.1541 оговаривается, что требуемое рабочее значение коэффициента ошибок в IP-пакете предварительно не должно превышать  $1 \times 10^{-4}$ . Для выполнения Рекомендации МСЭ-T в части качества обслуживания приложений, чувствительных к ошибкам, можно применить схему автоматического запроса на повторение к линии связи ПСС, что позволит улучшить значение коэффициента ошибок в IP-пакете за счет увеличения задержки передачи.

Для приложений, чувствительных к задержкам передачи, невозможно применить ни одну из методик повторной передачи, подобных автоматическому запросу на повторение. Таким образом, коэффициент ошибок в IP-пакете определяется только рабочими характеристиками спутникового канала, такими как коэффициент ошибок по битам и размер каждого IP-пакета, *Packet\_size*, значения которых следует тщательно определять самой конструкцией системы.

### 3 Коэффициент потерь в IP-пакете

В Рекомендации МСЭ-T Y.1540 коэффициент потерь в IP-пакете (IPLR) определен как отношение общего количества утерянных пакетов к общему количеству переданных пакетов. Причинами потери пакетов могут быть, например, неправильное направление пакета IP вследствие несовместимых обновлений таблиц маршрутизации, переполнения буферов на маршрутизаторах или оборудовании передатчика пакетов, перегрузки маршрутизаторов и т. п. На участке передачи IP-пакета по линии ПСС главной причиной потери пакета является так называемое узкое место, переполненное пакетами IP из буфера, на интерфейсе спутникового оборудования передатчика, соединяющего линию связи ПСС с наземной станцией.

Коэффициент потерь в IP-пакете, вызванных переполнением пакетами из буфера передач, зависит от следующих параметров:

- процесс поступления IP-пакетов;
- размер буфера передач на интерфейсе соединения линии ПСС с наземной станцией;
- схема планирования передачи IP-пакетов через линию связи ПСС.

Общепризнано, что процесс поступления пакетных приложений IP носит переменный характер. Например, определена модель рабочей нагрузки сети (трафика) для просмотра веб-страниц с целью оценки технологии радиопередач в мобильных средствах связи<sup>1</sup>. В данной модели используется процесс поступления пакетов по так называемому принципу "включено-выключено". Периоды включения и выключения соответствуют сериям пакетов для загрузки файла и для времени считывания файла, соответственно. Данная модель дает хорошее представление о работе просмотра веб-страниц; тем не менее, для оценки рабочих характеристик пакетных приложений IP со сложной моделью трафика и переменным характером поступления данных не было ни описано, ни утверждено ни одного аналитического метода. Одним из возможных способов оценки *IPLR* при переменном

<sup>1</sup> UMTS TR 101 112, "Процедуры отбора технологий радиопередачи для Универсальной системы мобильной связи", апрель 1998 года.

характере трафика является моделирование очереди с соответствующими допущениями на упомянутые выше параметры.

Предполагая, что процесс поступления IP-пакетов является пуассоновским и буфер ограничен с помощью планировщика "первым пришел – первым обслужен", теоретически возможно рассчитать  $IPLR$ , вызванных переполнением буфера, путем анализа очередности  $M/M/1/K$  следующим образом:

$$IPLR = \rho^K / \sum_{n=0}^K \rho^n, \quad (2)$$

где:

- $K$ : размер буфера в количествах пакетов
- $\rho$ : интенсивность нагрузки сети (трафика), т. е.  $\rho = \lambda \cdot h$
- $\lambda$ : частота поступления пакетов (число пакетов в секунду)
- $h$ : среднее время занятости устройства при передаче пакета.

#### 4 Задержка передачи IP-пакета (IPTD)

Задержка передачи IP-пакета (IPTD) – это общая задержка сквозной передачи соединения IP. Для вычисления задержки передачи IP-пакета необходимо, чтобы сквозное соединение было должным образом выделено на всех участках, образующих данное соединение. Для линии связи ПСС задержка передачи IP-пакета,  $IPTD_{sat}$ , определена в Рекомендации МСЭ-R М.1636 следующим образом:

$$IPTD_{sat} = \sum_{n=1}^{N+1} \{T_{n,propagation} + T_{n,processing}\} + T_{buffer}, \quad (3)$$

где:

- $N$ : число повторных передач согласно автоматическому запросу на повторение
- $T_{n,propagation}$ : задержка на время распространения сигнала по линии связи ПСС для  $n$ -ой передачи
- $T_{n,processing}$ : задержка обработки для передачи пакета по спутниковому каналу и адаптация для  $n$ -ой передачи по линии связи ПСС
- $T_{buffer}$ : задержка буферизации на интерфейсе соединения линии ПСС с наземной станцией.

Стандартные значения для задержки на время распространения сигнала,  $T_{n,propagation}$ , а также отклонения задержки для различных систем ПСС содержатся в Рекомендации МСЭ-R М.1636. Для негеостационарных (средневысотных) систем ПСС  $T_{n,propagation}$  составляет 69 мс на подспутниковой точке и 103 мс на границе зоны спутниковой связи. Задержка обработки пакета,  $T_{n,processing}$ , зависит от следующих параметров системы ПСС для передачи IP-пакета:

- схема упреждающей коррекции ошибок;
- структура кадра для линии связи ПСС;
- длина пакета и скорость его передачи (бит/с);
- схема планирования передачи IP-пакетов по линии связи ПСС.

Эти параметры содержатся в требуемых рабочих характеристиках физического и канального уровней ПСС. Задержка буферизации,  $T_{buffer}$ , может быть установлена путем анализа постановки пакетов в очередь или через изучение типов моделирования, если для процесса поступления пакетов допускается соответствующая модель, размер буфера и схема планирования и кадрирования IP-пакета по линии связи ПСС.

В Рекомендации МСЭ-T Y.1541 требуемые рабочие характеристики для задержки передачи пакетов определены как среднее значение  $IPTD$ .

Для систем, чувствительных к задержкам, где не предусмотрена повторная передача пакета, среднее значение  $\overline{IPTD}_{sat}$ ,  $\overline{IPTD}_{sat}$ , может быть легко вычислено как сумма  $T_{n,propagation}$ ,  $T_{n,processing}$  и  $T_{buffer}$ .

Для приложений, чувствительных к ошибкам, значение  $\overline{IPTD}_{sat}$  зависит от рабочей схемы автоматического запроса на повторение передачи.

Для автоматического запроса на повторение передачи с остановкой и ожиданием значение  $\overline{IPTD}_{sat}$  может быть вычислено следующим образом:

$$\overline{IPTD}_{sat} = \bar{x} + \frac{\lambda \bar{x}^2}{2(1-\lambda \bar{x})} - (T_{propagation} + T_{ack,processing}) \quad (4)$$

$$\bar{x} = \frac{T_D}{1-p} \quad (5)$$

$$\bar{x}^2 = \frac{T_D^2 (1+p)}{(1-p)^2}, \quad (6)$$

где:

$\lambda$ : скорость поступления пакетов (пакет/с)

$p$ : коэффициент ошибок в IP-пакете (*IPER*)

$T_D$ : задержка в оба конца на линии ПСС,

$$T_D = 2T_{propagation} + T_{data,processing} + T_{ack,processing}$$

$T_{propagation}$ : среднее значение задержки на время распространения сигнала через линию связи ПСС

$T_{data,processing}$   $T_{ack,processing}$ : среднее значение задержки обработки для пакета данных и подтверждение пакета, соответственно.

Для автоматического запроса на повторение передачи с возвращением к  $N$  значение  $\overline{IPTD}_{sat}$  может быть вычислено следующим образом:

$$\overline{IPTD}_{sat} = \bar{x} + \frac{\lambda \bar{x}^2}{2(1-\lambda \bar{x})} + (T_{propagation}) \quad (7)$$

$$\bar{x} = T_{data,processing} + T_D \cdot \frac{p}{1-p} \quad (8)$$

$$\bar{x}^2 = T_{data,processing}^2 + 2T_{data,processing} \cdot T_D \cdot \frac{p}{1-p} + T_D^2 \cdot \frac{p(1+p)}{(1-p)^2}. \quad (9)$$

Наконец, для автоматического запроса на повторение передачи с выборочным повтором значение  $\overline{IPTD}_{sat}$  может быть вычислено так:

$$\overline{IPTD}_{sat} = \bar{x} + (T_D - T_{data,processing}) \cdot \frac{p}{1-p} + \frac{\lambda \bar{x}^2}{2(1-\lambda \bar{x})} + T_{propagation} \quad (10)$$

$$\bar{x} = \frac{T_{data,processing}}{1-p} \quad (11)$$

$$\bar{x}^2 = T_{data,processing}^2 \cdot \frac{1+p}{(1-p)^2}. \quad (12)$$

## 5 Отклонение задержки передачи IP-пакета

Определение отклонения задержки передачи IP-пакета (IPDV) описано в Приложении IV Рекомендации МСЭ-T Y.1541, при этом нужно учитывать различные действующие факторы. К тому же колебания задержки на время распространения сигнала также влияют на отклонение задержки передачи IP-пакета через негеостационарную линию связи ПСС, для которой стандартные значения отклонения задержки на время распространения сигнала приведены в Рекомендации МСЭ-R М.1636. В целом при определении отклонения задержки передачи IP-пакета через линию связи ПСС должны приниматься во внимание вышеупомянутые факторы, и вычисление данного параметра путем анализа очередизации представляется крайне затруднительным. Возможным способом определения отклонения задержки передачи через линию связи ПСС является создание функции распределения для *IPTD* путем измерения существующих стандартных систем ПСС или путем моделирования.

## Приложение 3

### Указания по оптимизации рабочих характеристик пакетных приложений IP в ПСС

#### 1 Введение

На сегодняшний момент в сфере передачи информации через интернет TCP-протокол является доминирующим протоколом транспортного уровня на уровне IP. Рабочие характеристики передачи IP-пакета через TCP-протокол в первую очередь определяются шириной полосы пропускания и задержкой передачи. Когда задержка на время распространения сигнала становится слишком большой, как это происходит для спутниковых линий связи, пропускная способность TCP-протокола может значительно ухудшиться. Например, если полный цикл обмена пакетами составляет 200 мс и размер окна установлен в 8 килобайт, пропускная способность TCP-протокола ограничена 310 кбит/с независимо от ширины полосы сетевого доступа.

Чтобы контролировать большие задержки передачи на линии ПСС, в ныне существующих операционных системах в различных ядрах программных модулей TCP широко используется опция масштаба окна, которая позволяет TCP-протоколу использовать размер окна больше, чем 64 килобайта. В данном разделе описывается настройка масштаба окон в TCP-протоколе для большой задержки на время распространения сигнала.

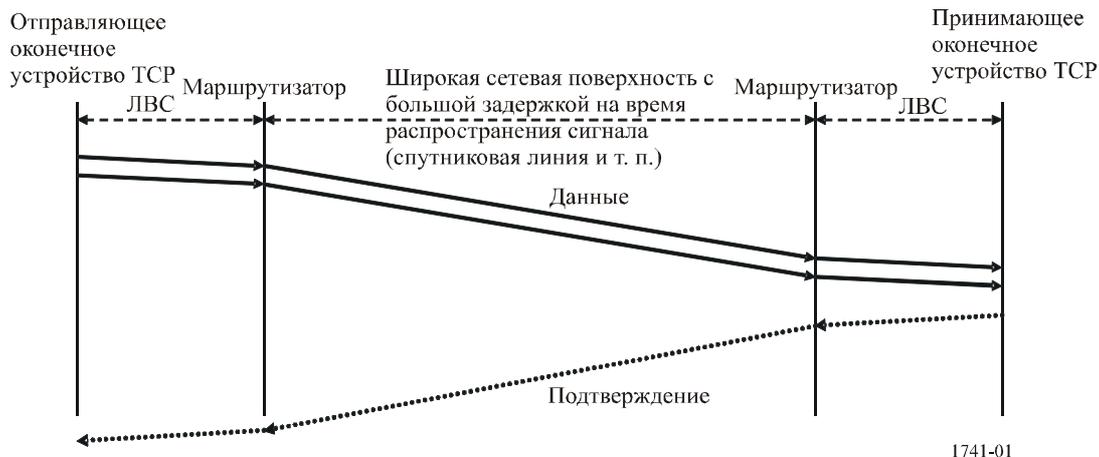
#### 2 Проблемы сквозных соединений с большой задержкой на время распространения сигнала

TCP-протокол выполняет сквозной контроль потоков между конечными оконечными устройствами, используя сдвиги в принципах работы окон, как показано на рисунке 1. Контроль потока данных осуществляется ядром программы TCP на персональном компьютере или на рабочей станции. Размер окна используется для контроля потока данных и определяет количество данных, которые могут быть переданы без подтверждения. Максимальный размер окна TCP обычно составляет 64 и 8 килобайт.

Этот маленький размер окна имеет серьезные недостатки, если задержка на время распространения сигнала на линии очень большая, например, задержка в 80 мс между восточным побережьем США и Японией через оптоволоконный кабель. Как показано на рисунке 1, отправляющее оконечное устройство TCP не может посылать информацию, даже если доступ к линии не занят, потому что подтверждение не посылается обратно в течение многих часов.

РИСУНОК 1

## Последовательность сквозного контроля потоков при неподходящем размере окна

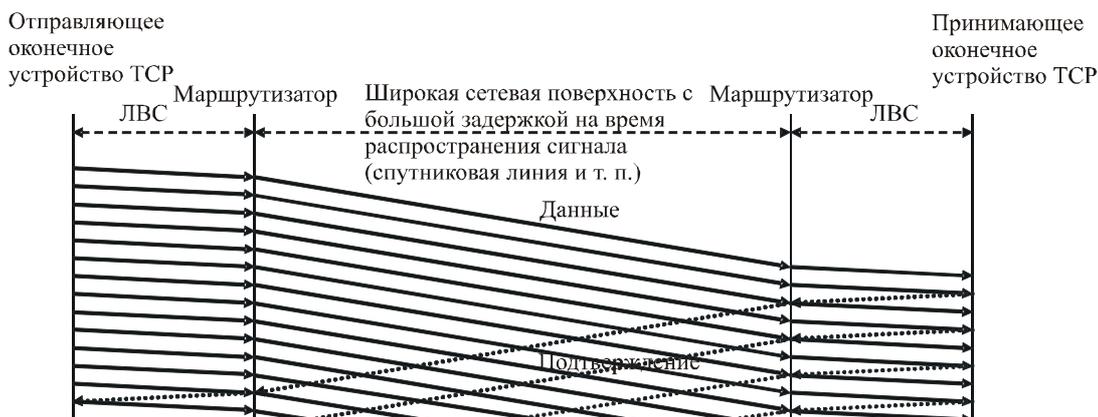


## 3 Методика улучшения пропускной способности ТСР-протокола

Настройка параметров ТСР является одним из решений для улучшения пропускной способности ТСР. Ключевым параметром ТСР является максимальный размер окна ТСР. В тех случаях, когда спутниковая линия связи является частью широкой сетевой поверхности, требуется большой размер окна, превышающий 64 килобайт. Тем не менее, традиционное программное обеспечение ТСР не разрешает использование окон размером свыше 64 килобайт. В настоящее время для решения этой проблемы расширения ТСР определены для более высокой эффективности в среде больших задержек. Опция масштаба окна является одним из расширений ТСР для этих целей. Таким образом, становится возможной высокая пропускная способность ТСР даже при использовании спутниковых линий связи. Как показано на рисунке 2, отправляющее оконечное устройство ТСР может всегда посылать данные при большей задержке на время распространения сигнала.

РИСУНОК 2

## Последовательность сквозного контроля потоков при подходящем размере окна



#### 4 Предполагаемая пропускная способность ТСП

При условии что в широкой сетевой поверхности нет потерь сегментов ТСП, предполагаемая пропускная способность ТСП рассчитывается по следующему уравнению:

"Предполагаемая пропускная способность ТСП" =

"Максимальный размер окна ТСП"/("полный цикл (RTT) между отправителем ТСП и получателем" + "время отправления сегмента ТСП отправителю").

В таблице 2 показаны отношения между полным циклом передачи данных и предполагаемой пропускной способностью для двух типов максимального размера окна ТСП. Значения вычислялись при условии, что максимальный размер сегмента составляет 1460 байт (т. е. максимальная единица передачи имеет размер 1500 байт) и скорость линии доступа отправителя составляет 400 кбит/с как узкое место полосы пропускания (т. е. время отправления сегмента ТСП будет 0,03 с).

ТАБЛИЦА 2

Предполагаемая пропускная способность ТСП

	Максимальный размер окна = 64 килобайт	Максимальный размер окна = 512 килобайт
RTT = 50 мс	6,55 Мбит/с	52,4 Мбит/с
RTT = 360 мс	1,34 Мбит/с	10,8 Мбит/с
RTT = 1000 мс	0,51 Мбит/с	4,07 Мбит/с
RTT = 2000 мс	0,26 Мбит/с	2,07 Мбит/с

По результатам таблицы 1 в Приложении 1 максимальный размер окна ТСП нужно настроить в соответствии с полным циклом между отправителем и получателем ТСП. Необходимо обратить внимание на то, что предполагаемая пропускная способность ТСП должна быть связана с узким местом полосы пропускания (т. е. полосы пропускания линии ПСС), если значение узкого места полосы пропускания ниже результатов расчета. Таким образом, если пропускная способность ТСП в таблице 2 ниже значения узкого места полосы пропускания линии спутникового доступа ПСС, максимальный размер окна ТСП должен быть больше, так чтобы полоса пропускания могла эффективно использоваться при передаче IP-пакета.

#### 5 Другие методики улучшения рабочих характеристик ТСП/IP-протокола

Другим возможным методом для улучшения рабочих характеристик ТСП/IP-протокола в спутниковых каналах передачи является использование метода расщепления сегментов. Сквозная сессия ТСП расщепляется на два или три сегмента таким образом, что сегмент спутниковой линии с большой задержкой передачи не ухудшает сквозные характеристики ТСП/IP-протокола. В МСЭ-R данный метод расщепления был тщательно изучен, и результаты данного исследования изложены в Рекомендации МСЭ-R S.1711. Определения, данные в Рекомендации МСЭ-R S.1711, и результаты экспериментальных испытаний обеспечивают полное понимание метода и его влияния на улучшение рабочих характеристик ТСП/IP-протокола.