

РЕКОМЕНДАЦИЯ МСЭ-R S.1711

Улучшение качественных показателей протокола управления передачей по спутниковым сетям

(Вопрос МСЭ-R 263/4)

(2005)

Сфера применения

Для большинства современных передач IP в качестве транспортного протокола применяется протокол управления передачей (ТСР). Однако при использовании в спутниковых сетях протокол ТСР проявляет некоторые недостатки. Поэтому для преодоления этих ограничений был разработан ряд методов, которые – все вместе – получили название "Улучшение качественных показателей ТСР". В настоящей Рекомендации приводится обзор этих методов, дается их краткое описание и определяется, где и как они улучшают ТСР для передач по спутниковым сетям. Кроме того, приводятся результаты испытаний и измерений, для того чтобы дать более точное представление об эффективности некоторых из этих методов.

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

учитывая,

- a) что для передачи пакетной информации по протоколу IP (протокол Интернет) системы фиксированной спутниковой службы используются все более интенсивно, в частности для непосредственного предоставления пользователю широкополосных услуг связи в дополнение к своей традиционной роли магистральных линий связи;
- b) что передача IP пакетов по линиям спутниковой связи требует качественных показателей, отличных от описанных в Рекомендации МСЭ-T G.826, а также в Рекомендациях МСЭ-R S.1062 и МСЭ-R S.1420;
- c) что качество протокола ТСР может ухудшаться из-за длительных задержек на линиях спутниковой связи, что влияет на качество обслуживания конечного пользователя;
- d) что, следовательно, при проектировании спутниковых линий для пакетной IP передачи чрезвычайно важно улучшить качественные показатели ТСР;
- e) что радиочастотный ресурс используется неэффективно, если в некоторых сетях не применять возможности улучшения качественных показателей ТСР для спутниковых линий,

отмечая,

- a) что для линий с небольшой нагрузкой улучшения качественных показателей ТСР может не потребоваться (см. Приложение 1),

рекомендует,

1 что при разработке методов улучшения качества ТСР для спутниковых линий за основу следует брать эталонные модели, приведенные в Приложении 1 к данной Рекомендации;

2 что при создании ТСР линий связи в сетях, использующих спутниковые линии, проектировщики систем должны руководствоваться Приложением 2.

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – В Приложении 3 описаны эксперименты и измерения, которые были выполнены, для того чтобы оценить эффективность некоторых методов, приведенных в Приложении 2, и содержится ценная информация для разработчиков спутниковых систем.

СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

Приложение 1 – Эталонные модели спутниковых систем	4
1 Сфера применения	4
2 Эталонные модели	4
2.1 Линии связи "пункт с пунктом"	6
2.2 Сети VSAT	7
2.2.1 Топология "Звезда"	7
2.2.2 Топология "Mesh"	7
2.3 Широкополосный доступ	8
3 Ограничения протокола TCP на линиях спутниковой связи	8
3.1 BDP	8
3.2 Затяжной пуск и предотвращение перегрузки	8
3.3 Быстрая повторная передача и быстрое восстановление	10
3.4 Влияние ошибок по битам на пропускную способность TCP	10
Приложение 2 – Методы улучшения качественных показателей TCP	11
1 Сфера применения	11
2 Варианты изменения базового TCP	11
3 Методы сегментирования	17
3.1 Метод деления на два сегмента	17
3.2 Метод деления на три сегмента	19
3.3 Пояснения	20
4 Посредники для повышения качества	20
4.1 Имитация TCP	21
4.2 Механизмы работы посредников для повышения качества (PER)	21
4.3 Предпосылки применения PER	21
4.3.1 Сквозная безопасность тракта	21
4.3.2 Сквозная надежность тракта	21
Приложение 3 – Измеренные качественные показатели TCP с улучшениями	21
1 Сфера применения	21
2 Качественные показатели TCP с сегментированием	22
2.1 Качественные показатели TCP, измеренные без каких-либо улучшений	22
2.1.1 Измерение качественных показателей TCP соединения	22
2.1.2 TCP без улучшений качественных показателей	22
2.1.3 Качественные показатели TCP соединения без улучшений качественных показателей	22

Стр.

2.2	Деление на два сегмента	23
2.2.1	Конфигурация спутниковых сетей	23
2.2.2	Результаты испытаний	25
2.2.3	Выводы	31
2.3	Деление на три сегмента	31
2.3.1	Конфигурация спутниковых сетей	31
2.3.2	Процедуры испытаний	31
2.3.3	Результаты испытаний	32
2.3.4	Выводы	36
3	Качественные показатели ТСП на спутниковых АТМ сетях	36
3.1	Конфигурация сети	37
3.2	Качественные показатели ТСП на спутниковых АТМ сетях (без наземных сегментов)	38
3.3	Поведение ТСП в разнородных сетях, включающих спутниковые линии	40
3.3.1	Моделирование размера буфера	41
3.3.2	Качественные показатели ТСП при регулировании трафика на передатчике	43
3.4	Выводы	45
4	Качественные показатели ТСП в спутниковых сетях доступа	45
4.1	Архитектура и конфигурация сети	45
4.1.1	Архитектура сети	45
4.1.2	Конфигурация	46
4.2	Результаты измерения качественных показателей	48
4.2.1	Доступность	49
4.2.2	Пропускная способность	53
4.2.3	Трафик	55
5	Измерения для прикладных протоколов (FTP и HTTP)	57
5.1	Конфигурация спутниковой АТМ сети	57
5.2	Пропускная способность FTP на спутниковой линии ОС-3	58
5.3	Пропускная способность HTTP на спутниковой линии ОС-3	60
5.3.1	HTTP 1.0 с неустойчивыми соединениями	60
5.3.2	HTTP 1.0 с возможностью работы в "дежурном" режиме	60
5.3.3	HTTP 1.1 без конвейерной работы	60
5.3.4	HTTP 1.1 с конвейерной работой	61
5.3.5	Результаты испытаний	61
5.4	Выводы	64

Приложение 1

Эталонные модели спутниковых систем

1 Сфера применения

В настоящем Приложении представлены эталонные модели сетей, содержащих спутниковые линии, предназначенных для передачи IP пакетов, кроме того, дано описание ограничений, присущих TCP на линиях спутниковой связи.

2 Эталонные модели

Список сокращений

AAL	Адаптивный уровень ATM
ACK	Подтверждение приема
ATM	Режим асинхронной передачи
BDP	Данные, задержанные в полосе пропускания
КОБ	Коэффициент ошибок по битам
BW	Бит индикации перегрузки
CPU	Центральный процессор
cwnd	Окно перегрузки (в TCP – переменная)
DA	Доступ по выделенным каналам
DACK	Задержанное подтверждение приема
DAMA	Многостанционный доступ с предоставлением канала по требованию
DVB-S	Спутниковое цифровое ТВ вещание
ECN	Явное сообщение о перегрузке
EIRP	Эквивалентная изотропная излучаемая мощность (э.и.и.м)
FEC	Упреждающая коррекция ошибок
FIN	Финальный сегмент (в TCP соединении)
FTP	Протокол передачи файлов
G/T	Отношение коэффициента усиления к эквивалентной температуре системы
GSO	Геостационарная спутниковая орбита
GW	Станция сопряжения (шлюз)
HEO	Высокая эллиптическая орбита
HPA	Спутниковый усилитель
HSP	Спутниковый узловой процессор
HTML	Язык разметки гипертекста
HTTP	Протокол передачи гипертекста

ICMP	Протокол управления сообщениями в сети интернета
IETF	Целевая группа инженерной поддержки интернета
I/O	Вход/выход
IP	Протокол Интернет
IPSEC	Протокол системы безопасности IP
ISP	Интернет-провайдер
LAN	Локальная сеть
LEO	Низкая околоземная орбита
LFN	Протяженная сеть с высокой пропускной способностью
MEO	Средняя околоземная орбита
MF-TDMA	Многостанционный доступ с частотным и временным разделением каналов
MPEG	Группа экспертов по вопросам кинотехники
MPLS	Многопротокольная маркерная коммутация
MSS	Максимальный размер сегмента
MTU	Максимальный размер пакета
NNTP	Протокол передачи новостей по сети
NTP	Сетевой протокол службы времени
OS	Операционная система
PAD	Байты заполнения
PAWS	Защита от свертки последовательностей
PC	Персональный компьютер (ПК)
PDU	Протокольный блок данных
PEP	Посредник улучшения качества
RA	Случайный доступ
RAM	Память со случайным доступом
RBP	Регулирование по скорости передачи
rcvwnd	Окно приема (в TCP – переменная)
RFC	Запрос комментариев (от IETF)
RPA	Дистанционный усилитель
RS	Код Рида-Соломона
RTT	Время прохождения сигнала в обоих направлениях
RTTM	Измерение RTT
Rx	Приемник
SACK	Избирательное подтверждение приема
SCPC	Один канал на несущую (ОКН)
SSPA	Полупроводниковый усилитель мощности

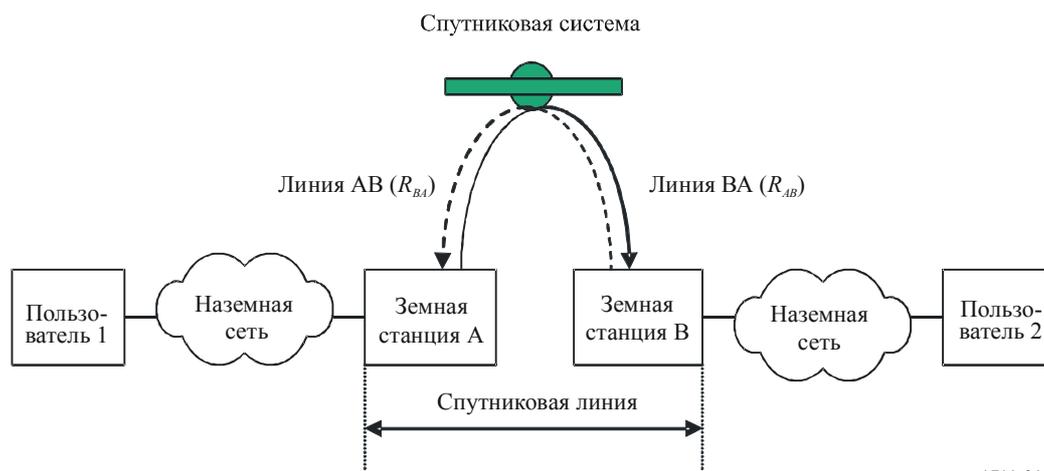
ssthres	Порог затяжного пуска (в TCP – переменная)
SYN	Сегмент синхронного пуска (используется для установления TCP соединения)
T/TCP	TCP для транзакций
TBF	Фильтр буфера маркеров
TCP	Протокол управления передачей
TDMA	Многостанционный доступ с временным разделением каналов
TWTA	Усилитель на лампе бегущей волны (ЛБВ)
Tx	Передатчик
UDP	Протокол датаграмм пользователя
URL	Унифицированный указатель ресурсов
VSAT	Малая земная станция
WAN	Территориально распределенная сеть

2.1 Линии связи "пункт с пунктом"

На рисунке 1 приведена эталонная модель сети, по которой передаются IP пакеты. Сеть состоит из линии спутниковой связи и соответствующими наземными сетями между двумя оконечными пользователями. Линия спутниковой связи является двунаправленной и состоит из линии АВ (от земной станции А до земной станции В со скоростью передачи данных R_{AB}) и из линии ВА (от земной станции В до земной станции А со скоростью передачи данных R_{BA}). В наземных сетях могут использоваться разнообразные протоколы канального уровня (например, АТМ, ретрансляция кадров, MPLS).

РИСУНОК 1

Эталонная модель для линии связи "пункт с пунктом", содержащей линию спутниковой связи



1711-01

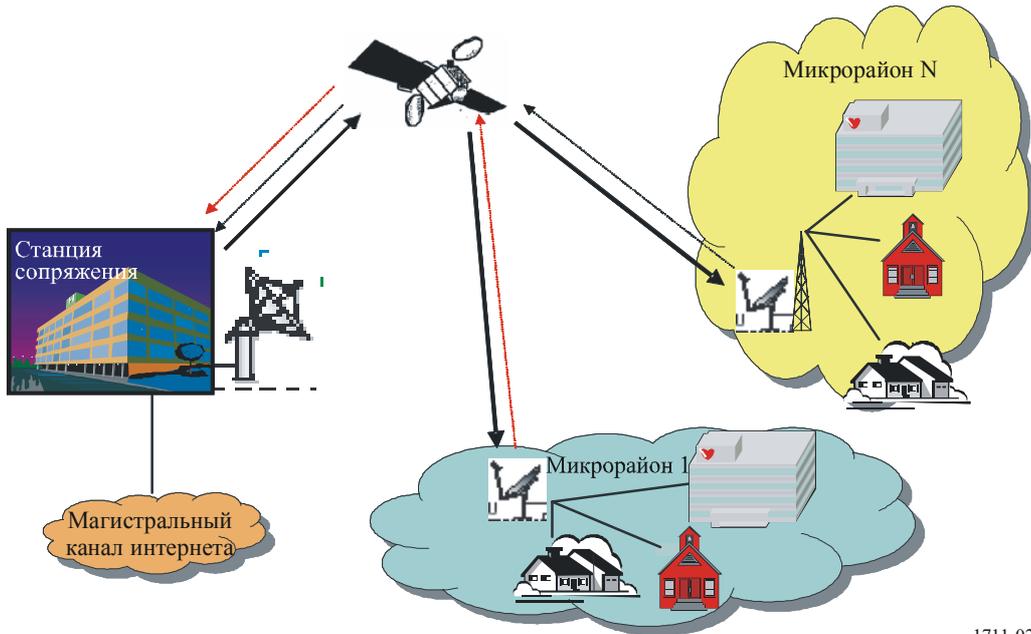
ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Вышеприведенная эталонная модель учитывает только один спутниковый пролет. В рамках настоящей Рекомендации методы, которые сегментируют TCP соединение для улучшения качественных показателей TCP на линиях спутниковой связи, описываются для одного спутникового пролета. Однако реальные соединения могут содержать несколько спутниковых пролетов. В таком случае описываемые методы будут применяться для каждой отдельно взятой линии спутниковой связи.

2.2 Сети VSAT

2.2.1 Топология "звезда"

На рисунке 2 показана стандартная конфигурация "звезда", в которой сигналы от различных удаленных пользователей передаются на станцию сопряжения (шлюз) земной станции, которая в свою очередь соединена с наземной сетью.

РИСУНОК 2
Топология "звезда"

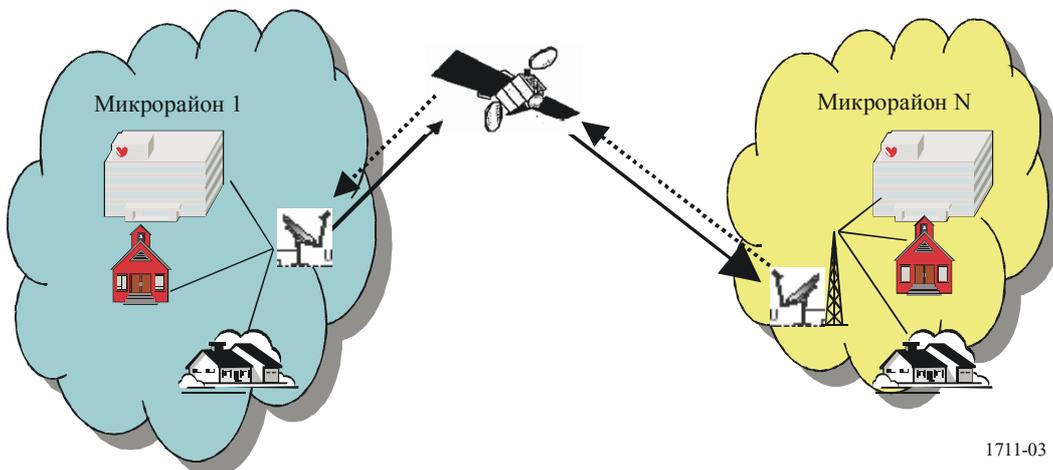


1711-02

2.2.2 Топология "Mesh"

На рисунке 3 показана конфигурация "Mesh", в которой любая пара земных станций может быть соединена непосредственно через спутник.

РИСУНОК 3
Топология "Mesh"



1711-03

2.3 Широкополосный доступ

Сети широкополосного доступа используют те же самые виды топологии (т. е. "звезда" или "mesh"), даже если они полностью аналогичны сетям VSAT.

3 Ограничения протокола TCP на линиях спутниковой связи

Протокол TCP не может различить, какие ухудшения качества вызваны ошибками на линии, а какие возникают из-за перегрузки сети. Он предполагает, что любые потери в сети вызваны только перегрузкой, и передатчик реагирует на потери, снижая скорость передачи.

Для управления в условиях перегрузки базовый протокол TCP (TCP Reno) определяет такие методы, как затяжной пуск, предотвращение перегрузки, быстрая повторная передача и быстрое восстановление. Протокол TCP использует оконный механизм управления потоками, в котором окно передачи позволяет приемному концу TCP регулировать объемы данных, передаваемых в каждый конкретный момент времени. Приемник объявляет размер окна для передатчика. Окно определяет, в байтах, объем неподтвержденных данных, которые передатчик должен передать на приемник.

3.1 BDP

Величина BDP – Данные, задержанные в полосе пропускания, – определяет объем данных, которые в TCP соединении должны в любой момент времени находиться "в полете" (данные уже переданы, но их прием еще не подтвержден), чтобы наиболее полно использовать пропускную способность канала. Задержка равна времени прохождения сигнала в обоих направлениях, а полоса пропускания определяет наиболее узкое место тракта передачи.

Для линий с большими BDP, как в геостационарных спутниковых сетях, передатчики и приемники TCP с ограниченными окнами перегрузки/приема не смогут использовать преимущества имеющейся пропускной способности. Стандартное максимальное окно TCP, равное 65 535 байтов, недостаточно для того, чтобы одно-единственное TCP соединение использовало всю пропускную способность, доступную в некоторых каналах спутниковой связи. В сети без потерь пропускная способность TCP ограничена уравнением (1):

$$\text{Максимальная пропускная способность} = \frac{\text{Размер окна}}{\text{RTT}}. \quad (1)$$

Следовательно, при использовании максимального окна TCP = 64 кбайт и линии спутниковой связи с переменным RTT получится следующая максимальная пропускная способность:

ТАБЛИЦА 1

Максимальная пропускная способность в соответствии со значениями RTT

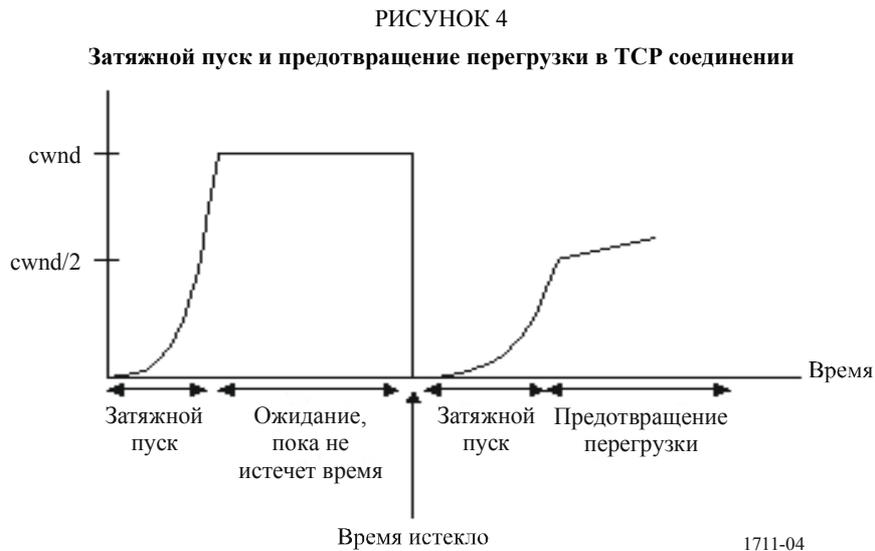
Тип спутниковой сети	RTT (мс)	Максимальная пропускная способность (кбайт/с)
LEO	~20	~3 200
MEO	~200	~320
HEO	~600	~110
GSO	~520	~120

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Вышеуказанные значения RTT не учитывают задержку в буфере, они вычислены только из задержек распространения.

3.2 Затяжной пуск и предотвращение перегрузки

TCP передатчик поддерживает окно перегрузки для измерения пропускной способности сети. Количество неподтвержденных пакетов в сети ограничено этим значением (или размером окна, объявленного приемником, в зависимости от того, какое из значений меньше). При запуске TCP соединения окно перегрузки установлено равным одному сегменту TCP. С приемом каждого нового подтверждения окно увеличивается на один сегмент, пока не достигнет максимального значения 64 кбайт. Передатчик поддерживает интервал для повторной передачи последнего

неподтвержденного пакета. Перегрузка считается определенной, когда истекло время повторной передачи. Когда срок истек, передатчик запоминает значение половины окна перегрузки (оно называется порогом затяжного пуска) и снова устанавливает размер окна равным одному сегменту. Затем передатчик повторно передает все сегменты, начиная с потерянного. С приемом каждого нового подтверждения окно перегрузки увеличивается на один сегмент, пока не достигнет величины порога затяжного пуска. Это фаза затяжного пуска. После этого с каждым RTT окно перегрузки увеличивается на один сегмент. Это приводит к линейному увеличению размера окна перегрузки каждый RTT и называется фазой предотвращения перегрузки. На рисунке 4 показаны фазы затяжного пуска и предотвращения перегрузки для типового TCP соединения (на рисунке "cwnd" означает окно перегрузки).



Время, требуемое механизму затяжного пуска для достижения скорости передачи B , определяется уравнением (2):

$$\text{Длительность затяжного пуска} = \text{RTT} \left(1 + \log_2 \frac{B \cdot \text{RTT}}{l} \right), \quad (2)$$

где l – средняя длина пакета, выраженная в битах.

В таблице 2 показана длительность фазы затяжного пуска для различных спутниковых орбит и различных значений скорости передачи B , когда $l = 1$ кбит.

ТАБЛИЦА 2

Длительность фазы затяжного пуска для различных спутниковых орбит

Тип спутника	(RTT) (мс)	Продолжительность фазы затяжного пуска (с)		
		$B = 1$ Мбит/с	$B = 10$ Мбит/с	$B = 155$ Мбит/с
LEO	~20	0,05	0,11	0,19
MEO	~200	1,14	1,80	2,59
HEO	~600	4,36	6,35	8,73
GSO	~520	3,67	5,40	7,45

Если реализован механизм задержанного подтверждения, то время, требуемое механизму затяжного пуска для достижения скорости передачи B , определяется уравнением:

$$\text{Длительность затяжного пуска} = RTT \left(1 + \log_{1,5} \frac{B \cdot RTT}{1} \right). \quad (3)$$

Оно предполагает, что длительность затяжного пуска увеличивается по сравнению с предыдущим случаем. Таким образом, задержанные подтверждения также используют пропускную способность во время фазы затяжного пуска.

Во время фазы предотвращения перегрузки увеличение скорости передачи зависит от объема данных, задержанных в полосе пропускания (BDP). В действительности, во время каждого RTT скорость передачи возрастает на $1/(B \cdot RTT)$. Поэтому если TCP соединение находится в фазе предотвращения перегрузки и в это время появляется дополнительная пропускная способность, то она еще в течение длительного времени не будет использоваться данным соединением. Этот интервал времени еще более возрастает при наличии потерь передачи. Следовательно, механизм предотвращения перегрузки в спутниковых сетях с большими значениями RTT работает медленнее, чем в наземной сети.

3.3 Быстрая повторная передача и быстрое восстановление

В современных вариантах TCP используется крупношаговый (с шагом 500 мс) таймер, отмеряющий интервал повторной передачи. В результате, при перегрузке теряется время на ожидание конца заданного интервала. На рисунке 1 горизонтальная линия "cwnd" показывает время, потерянное на ожидание конца заданного периода. В это время TCP не посылает новых пакетов и не передает повторно потерянных пакетов. Более того, по истечении времени ожидания окно перегрузки устанавливается равным одному сегменту, и требуется несколько интервалов RTT, для того чтобы сеть снова использовалась эффективно. Протокол TCP Reno реализует алгоритмы быстрой повторной передачи и быстрого восстановления, которые позволяют соединению быстро восстанавливаться после потери одиночных сегментов.

Если сеть теряет сегмент, то следующие сегменты приходят на приемник в неправильном порядке. При получении каждого из них TCP посылает на передатчик подтверждение, указывающее номер утерянного сегмента. Такое подтверждение называется дубликатом. Когда передатчик получает три дубликата, он делает вывод о том, что сегмент, указанный в них, утерян, и сразу же передает его повторно. Затем передатчик уменьшает окно перегрузки на половину плюс три сегмента, а также запоминает значение порога затяжного пуска = половине исходного окна перегрузки. С получением каждого следующего дубликата передатчик увеличивает окно перегрузки на единицу и пытается передать новый сегмент. Фактически, прежде чем передать один сегмент для каждого полученного им последующего дубликата, передатчик ждет в течение времени передачи сигнала в одну сторону. В результате, во время быстрой повторной передачи передатчик удерживает пропускную способность линии сети на половинном значении.

Примерно через один интервал RTT после повторной передачи утерянного сегмента приходит подтверждение его приема (если повторно переданный сегмент не был потерян). В это время вместо того, чтобы поддерживать окно перегрузки равным одному сегменту и выполнять процедуру затяжного пуска, протокол TCP сразу устанавливает окно перегрузки равным порогу затяжного пуска. Это и есть алгоритм быстрого восстановления.

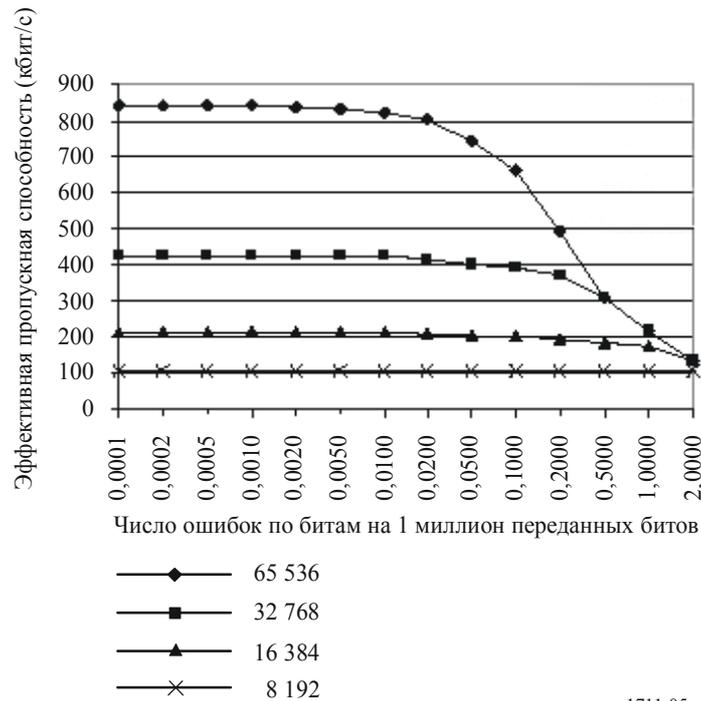
Механизмы быстрой повторной передачи и быстрого восстановления также подвержены влиянию длительных интервалов RTT, присущих линиям спутниковой связи. Многократная повторная передача дубликатов подтверждений приводит к напрасной трате пропускной способности, которая в спутниковых сетях является ограниченным ресурсом.

3.4 Влияние ошибок по битам на пропускную способность TCP

В присутствии ошибок TCP работает плохо, и чем больше размеры окна, тем более чувствителен TCP к ошибкам (см. рисунок 5). Для получения большой пропускной способности с использованием TCP, на линии не должно быть потерь, т. е. она должна иметь малый КОБ.

РИСУНОК 5

Влияние КОБ на пропускную способность ТСП
(RTT = 590 мс и В = 2048 кбит/с)



1711-05

Приложение 2

Методы улучшения качественных показателей ТСП

1 Сфера применения

Существуют различные способы улучшения качественных показателей базового варианта ТСП, которые могут быть реализованы, для того чтобы противостоять ухудшению качества ТСП соединений в таких сетях, как смоделированные в Приложении 1. Они описываются в настоящем Приложении, кроме того, приводятся их преимущества и недостатки при применении в спутниковых сетях.

2 Варианты изменения базового ТСП

Может быть реализовано несколько вариантов протокола ТСП или улучшений к протоколу ТСП, для того чтобы противостоять определенным ухудшениям качества линий спутниковой связи. Группа IETF предложила множество улучшений к протоколу, опубликованных в RFC. В таблице 3 перечислены эти улучшения к протоколу ТСП, даны соответствующие им номера документов RFC и краткое изложение документов RFC. В таблице также указано, какие ошибки, встречающиеся на линии спутниковой связи (например, запаздывание сигнала, большое значение BDP или высокий КОБ), помогает устранить данное улучшение.

ТАБЛИЦА 3

Улучшения к протоколу TCP

Улучшение к протоколу TCP	Номер RFC ⁽¹⁾	Ошибки протокола TCP на линиях спутниковой связи			Описание
		Запаздывание сигнала	Большой BDP	Ошибки на линии	
Большой размер исходного окна	2414	Да	Да	Нет	RFC 2414 "Увеличение исходного окна TCP" (1998 г.) Определяет увеличение разрешенного исходного окна для TCP от одного сегмента до примерно 4 кбит. В нем также рассматриваются преимущества и недостатки такого изменения.
	2581				RFC 2581 "Регулирование перегрузки в TCP" (1999 г.) Определяет четыре взаимосвязанных алгоритма регулирования перегрузки: затяжной пуск, предотвращение перегрузки, быстрая повторная передача и быстрое восстановление. Кроме того, он определяет, как TCP должен начинать передачу после относительно долгого периода молчания, и рассматривает различные методы создания подтверждений.
Нумерация байтов	2414	Да	Нет	Нет	RFC 2414 "Увеличение исходного окна TCP" (1998 г.) Механизм подсчета байтов увеличивает окно перегрузки на основании числа переданных байтов, прием которых подтвержден приходящими ACK, а не на основании количества полученных ACK. Для трактов с большой задержкой, в частности, эта схема, как было показано, уменьшает время, требуемое для достижения оптимального размера окна перегрузки.
Масштабирование окна	1323	Да	Да	Нет	RFC 1323 "Дополнения к TCP для повышения качества" (1992 г.) Содержит несколько дополнений к TCP, направленных на улучшение качества работы при протяженных трактах передачи и больших объемах данных, задержанных в полосе пропускания, а также на обеспечение надежной работы на высокоскоростных трактах. Он также определяет новые возможности TCP по работе с масштабируемыми окнами и метками времени, разработанными для обеспечения взаимодействия с вариантами TCP, в которых эти дополнения не реализованы. Метки времени используются для двух различных механизмов: RTTM и PAWS.

ТАБЛИЦА 3 (продолжение)

Улучшение к протоколу TCP	Номер RFC ⁽¹⁾	Ошибки протокола TCP на линиях спутниковой связи			Описание
		Запаздывание сигнала	Большой BDP	Ошибки на линии	
Поочередная передача сегментов TCP	2760	Да	Да	Нет	<p>RFC 2760 "Текущие исследования TCP в отношении спутников" (2000 г.)</p> <p>RBV – это метод, используемый в отсутствие входящих АСК, когда передатчик временно поочередно передает сегменты TCP на данной скорости, для того чтобы перезапустить синхронизацию АСК. После приема первого АСК поочередная передача прекращается и восстанавливается нормальное для TCP генерирование тактовых импульсов АСК. Скорость поочередной передачи может быть известна из последних оценок трафика (при восстановлении остановленного соединения или на основании предыдущих соединений), либо может быть определена внешними средствами (например, в спутниковых сетях "пункт-пункт" или "связь пункта со многими пунктами", где можно предположить наличие значительной доступной пропускной способности). Кроме того, поочередная передача данных во время первого периода RTT может дать протоколу TCP возможность обеспечить эффективное использование линий с большими задержками даже для коротких сеансов связи. Однако для поочередной передачи сегментов во время первого RTT протокол TCP должен будет использовать нестандартное первоначальное окно перегрузки и новый механизм поочередной передачи исходящих сегментов, а не передавать их из конца в конец. Поочередная передача может использоваться также для уменьшения размеров пакетов.</p>
TCP Vegas	N/A	Да	Да	Нет	<p>Протокол TCP Vegas использует измененный затяжной пуск и новый механизм повторной передачи. Алгоритм измененного затяжного пуска делает попытки определить нужный размер окна перегрузки без потери сегментов.</p>
DACK	1122	Да	Нет	Нет	<p>RFC 1122 "Требования к интернет-хостам – Уровни соединения" (1989 г.)</p> <p>В TCP приемнике используются задержанные подтверждения, для того чтобы иметь возможность одновременно подтверждать прием двух сегментов, тем самым уменьшается объем трафика подтверждений. Однако слишком долгая задержка может привести к тому, что на стороне передатчика истечет время ожидания и начнется повторная передача. Приемник не должен задерживать подтверждение более чем на 0,5 с.</p>

ТАБЛИЦА 3 (продолжение)

Улучшение к протоколу TCP	Номер RFC ⁽¹⁾	Ошибки протокола TCP на линиях спутниковой связи			Описание
		Запаздывание сигнала	Большой BDP	Ошибки на линии	
TCP SACK	2018	Да	Да	Да	<p>RFC 2018 "Возможности селективных подтверждений в TCP" (1996 г.)</p> <p>TCP может показывать плохое качество, когда в одном окне данных теряется сразу несколько пакетов. Когда полученные подтверждения дают слишком мало информации, TCP передатчик может узнать только об одном потерянном пакете на один период прохождения сигнала в обоих направлениях. Активный передатчик может рано начать повторную передачу пакетов, но эти повторно переданные сегменты могут быть уже успешно приняты. Для преодоления этих ограничений может использоваться механизм SACK, объединенный с политикой селективной повторной передачи. Приемная часть TCP передает на передатчик SACK, информируя его о принятых данных. Передатчик может затем передавать повторно только утерянные сегменты данных.</p>
	2883				<p>RFC 2883 "Дополнение для возможности селективных подтверждений (SACK) в TCP" (2000 г.)</p> <p>Расширяет документ RFC 2018, определяя использование механизма SACK для подтверждения. При получении дублированных пакетов может использоваться первый блок дополнительного поля SACK, в котором указывается порядковый номер пакета, который сгенерировал подтверждение. Такое дополнение механизма SACK позволяет TCP передатчику определять, в каком порядке пакеты получены на приемнике, а также принимать решение о том, требуется ли повторная передача пакета. TCP передатчик может использовать эту информацию для обеспечения более устойчивой работы в условиях, когда меняется порядок следования пакетов, теряются ACK, происходит дублирование пакетов и/или время повторной передачи истекает слишком быстро.</p>
TCP New Reno	2582	Да	Да	Да	<p>RFC 2582 "Новые модификации протокола Reno для алгоритмов быстрого восстановления в TCP" (1999 г.)</p> <p>RFC 2581 вводит концепцию частичного подтверждения (при обнаружении утери данных передается ACK, которые касаются новых данных, а не всех ранее переданных данных) в отсутствие механизма SACK. Документ RFC 2582 описывает специальный алгоритм ответа на частичные подтверждения, который называется "New Reno".</p>

ТАБЛИЦА 3 (продолжение)

Улучшение к протоколу TCP	Номер RFC ⁽¹⁾	Ошибки протокола TCP на линиях спутниковой связи			Описание
		Запаздывание сигнала	Большой BDP	Ошибки на линии	
ECN	2481	Да	Да	Частично	<p>RFC 2481 "Предложения по добавлению явного уведомления о перегрузке (ECN) в IP" (1999 г.)</p> <p>Описывает предлагаемое дополнение ECN к протоколу IP путем установки в маршрутизаторах бита наличия перегрузки. Он также описывает, какие изменения могут потребоваться в TCP, для того чтобы он мог использовать ECN. На линиях спутниковой связи такое дополнение может помочь определить причину потери пакета: ошибка на линии или перегрузка сети.</p>
Компрессия заголовка	2507	Нет	Нет	Да	<p>RFC 2507 "Компрессия IP-заголовка" (1999 г.)</p> <p>Описывает, как скомпрессировать несколько IP заголовков, TCP и UDP заголовков при передаче по спутниковому участку линии пункт-пункт. Эти методы могут применяться к базовым заголовкам IPv6, к их расширениям, к заголовкам IPv4, заголовкам TCP и UDP, а также к инкапсулированным заголовкам IPv6 и IPv4. Заголовки типовых пакетов UDP или TCP могут быть сжаты до 4–7 байтов, включая 2 байта проверочной суммы UDP или TCP. Этот механизм значительно снижает отрицательное влияние больших IP заголовков и позволяет обеспечить эффективное использование полосы пропускания на низко- и среднескоростных линиях. Алгоритмы компрессирования специально разработаны для линий с большими потерями пакетов.</p>
Определение MTU для данного тракта	1191	Да	Да	Нет	<p>RFC 1191 "Определение MTU для данного тракта" (1990 г.)</p> <p>Описывает метод динамического определения максимального размера пакета (MTU) на некотором маршруте в сети интернета. Опция "Определение MTU для данного тракта" позволяет протоколу TCP работать с максимально возможными размерами пакетов, без затрат времени на их фрагментацию и восстановление. Увеличение размера окна перегрузки TCP определяется размерами сегмента, а не его типом, и, следовательно, большие сегменты позволяют TCP передатчикам увеличивать размеры окна перегрузки быстрее, чем более мелкие сегменты.</p>

ТАБЛИЦА 3 (окончание)

Улучшение к протоколу TCP	Номер RFC ⁽¹⁾	Ошибки протокола TCP на линиях спутниковой связи			Описание
		Запаздывание сигнала	Большой BDP	Ошибки на линии	
Определение MTU для данного тракта (продолжение)	2488	Да	Да	Нет	RFC 2488 "Улучшение TCP для спутниковых каналов с применением стандартных механизмов" (1999 г.) Опция "Определение MTU для данного тракта" может привести к тому, что возникает дополнительная задержка прежде, чем TCP окажется способным начать передачу данных. Задержки на спутниковых линиях могут еще более усложнить эту проблему. Опция "Определение MTU для данного тракта" не потребует длительного времени, если известны типовые значения MTU. Кроме того, знание типовых значений MTU может во многих случаях избежать временных затрат на определение размера MTU.
T/TCP	1644	Да	Не нужно	Не нужно	RFC 1644 "Улучшение T/TCP – TCP для транзакций – Окончательная спецификация" (1994 г.) Этот информационный документ определяет T/TCP – экспериментальное расширение протокола TCP для эффективных транзакционных услуг (запрос-ответ). Это – совместимое назад расширение, оно позволяет заполнить разрыв между сегодняшним TCP, ориентированным на соединения с протоколом UDP, основанным на датаграммах.
FEC	2488	Не нужно	Не нужно	Да	RFC 2488 "Улучшение TCP для спутниковых каналов с применением стандартных механизмов" (1999 г.) TCP обеспечивает надежную передачу данных по сети любого вида, включая тракты, содержащие спутниковые линии. Когда TCP работает на спутниковых каналах, механизм упреждающей коррекции ошибок (FEC) неявно позволяет TCP использовать доступную емкость канала более эффективно за счет коррекции ошибок в линии еще до уровня TCP.

⁽¹⁾ RFC означает "Запрос комментариев" и является документом, публикуемым Рабочей группой проектирования интернета (IETF).

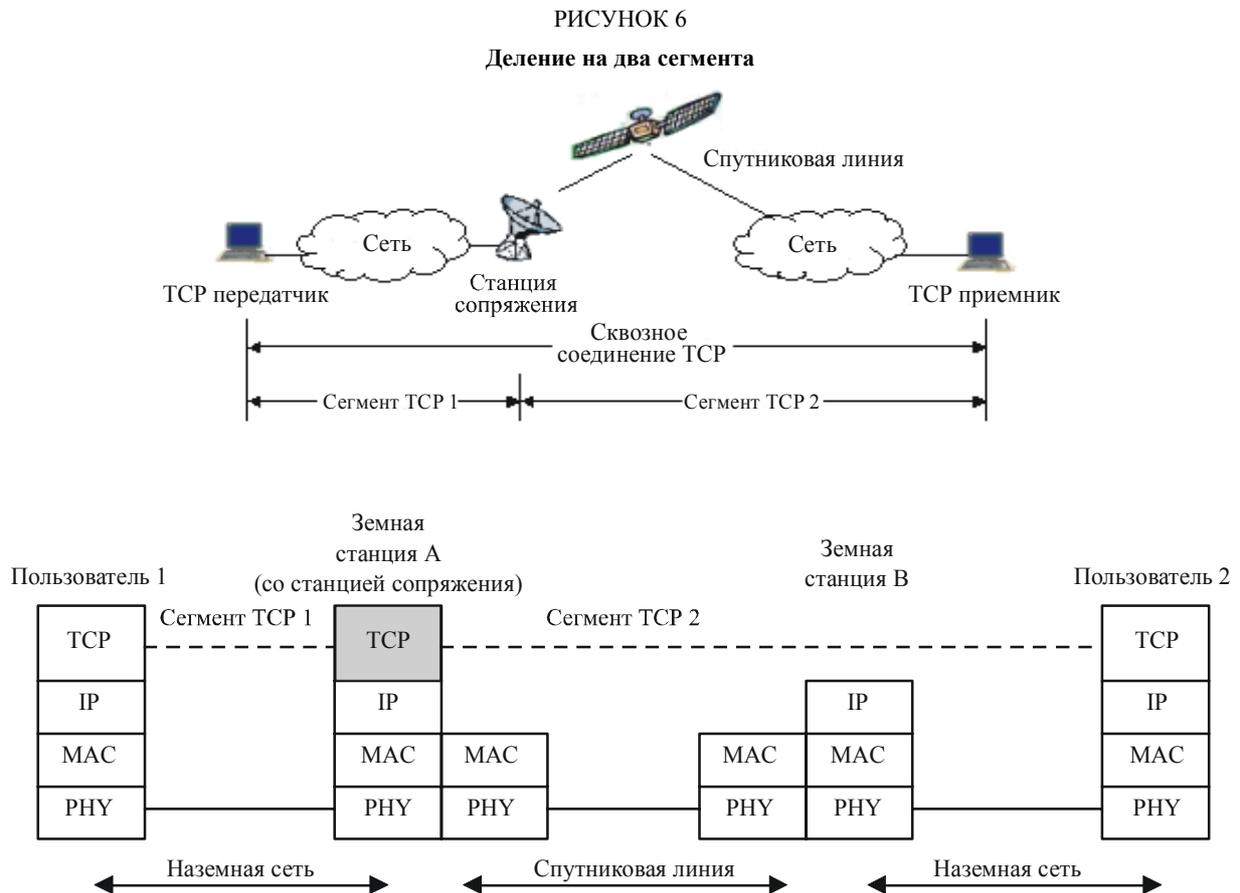
3 Методы сегментирования

ТСР сегментирование – это схема, в которой одно сквозное сетевое соединение делится на несколько ТСР соединений или сегментов. Как правило, определяются разные сегменты для наземных и спутниковых составляющих линии. Более того, ТСР соединение на спутниковом сегменте может быть изменено так, чтобы устранить ошибки линии спутниковой связи.

Схема сегментирования, как правило, реализуется на станции сопряжения, размещенной до и/или после спутникового модема (в зависимости от типа сегментирования). Хотя единое сквозное ТСР соединение не поддерживается, конечные пользователи могут продолжать общаться друг с другом, даже не подозревая о таких функциях станции сопряжения, поскольку у пользователя создается ощущение единого ТСР соединения.

3.1 Метод деления на два сегмента

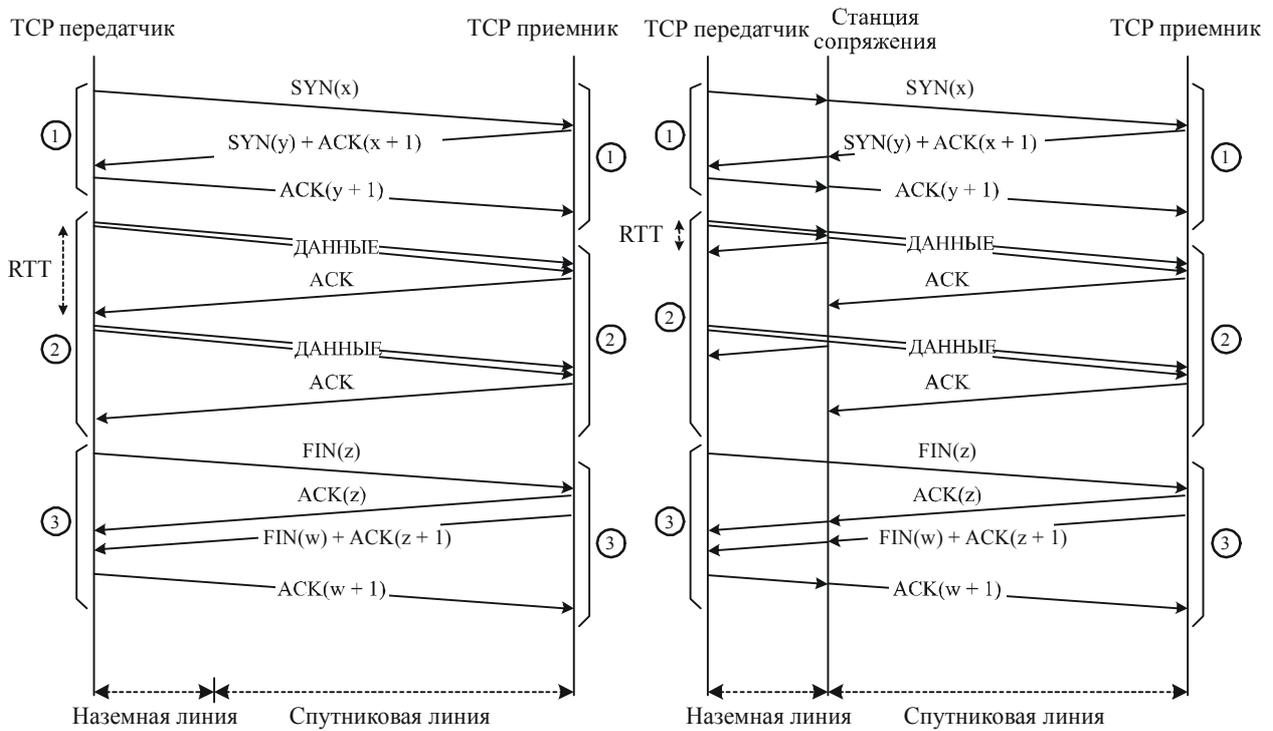
Метод деления на два сегмента разделяет сквозные ТСР соединения на два сегмента. Топология сети и стек протоколов для этого метода изображены на рисунке 6. Сравнение последовательности ТСР стандартного ТСР и для метода деления на два сегмента показано на рисунке 7.



На обоих сегментах для связи TCP передатчиком/приемником и станцией сопряжения используется стандартный протокол TCP. Когда станция сопряжения на земной станции А принимает пакет данных от Пользователя 1 на сегменте 1 и транслирует его Пользователю 2 на сегменте 2, она возвращает Пользователю 1 подтверждение приема вне зависимости от того, приняла ли станция сопряжения такое же подтверждение от Пользователя 2. Цель такой работы состоит в том, чтобы не прерывалась передача данных от Пользователя 1, что повышает пропускную способность сквозного TCP соединения. В этом методе пропускная способность TCP соединений увеличивается только в одном направлении (в данном примере от Пользователя 1 к Пользователю 2). Одним из главных преимуществ этого метода является то, что станция сопряжения требуется только на передающей земной станции (т. е. на земной станции А). Этот метод особенно пригоден для спутниковых сетей топологии "звезда" (см. рисунок 2), поскольку увеличение пропускной способности TCP требуется только в одном направлении (от узловой станции к VSAT). Кроме того, реализовывать функции станции сопряжения на множестве удаленных станций экономически невыгодно.

РИСУНОК 7

Сравнение стандартного протокола TCP и метода деления на два сегмента



а) Последовательность передачи стандартного TCP

б) Последовательность передачи с делением на два сегмента

- ① Фаза установления соединения
- ② Фаза передачи данных
- ③ Фаза разрыва соединения

3.2 Метод деления на три сегмента

Метод деления на три сегмента разделяет сквозные TCP соединения на три сегмента. На рисунке 8 показаны топология сети и стек протоколов для метода деления на три сегмента, где в наземных сегментах (1 и 3) используется стандартный TCP протокол, а в спутниковом сегменте (сегмент 2) реализован оптимизированный протокол TCP. Последовательность для деления на три сегмента показана на рисунке 9. Подтверждения создаются станцией сопряжения, а не ожидаются от конечного пользователя. В таком случае станция сопряжения работает как посредник.

В данном методе пропускная способность TCP соединений увеличивается в обоих направлениях. Этот метод пригоден для сетей пункт-пункт, например, для присоединения сети интернет-провайдера к магистральной линии IP (см. рисунок 1).

РИСУНОК 8

Деление на три сегмента

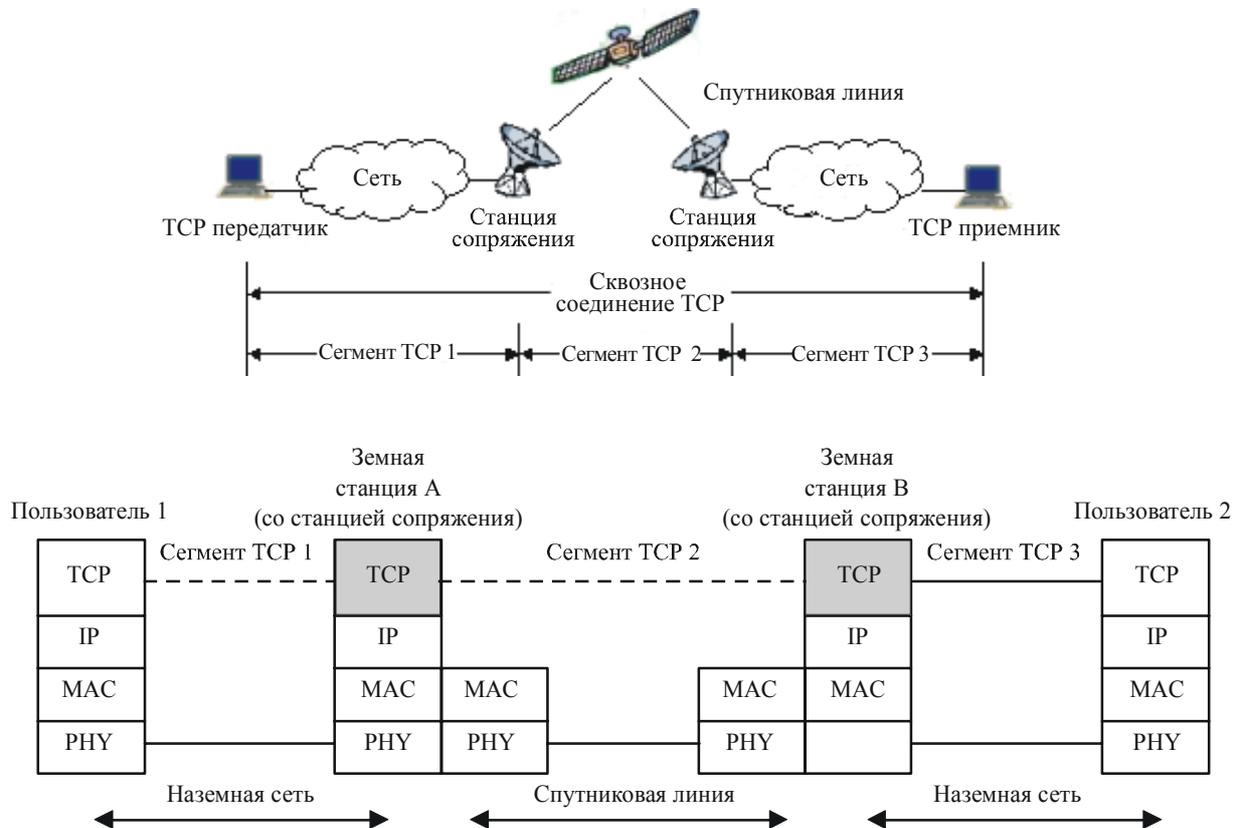
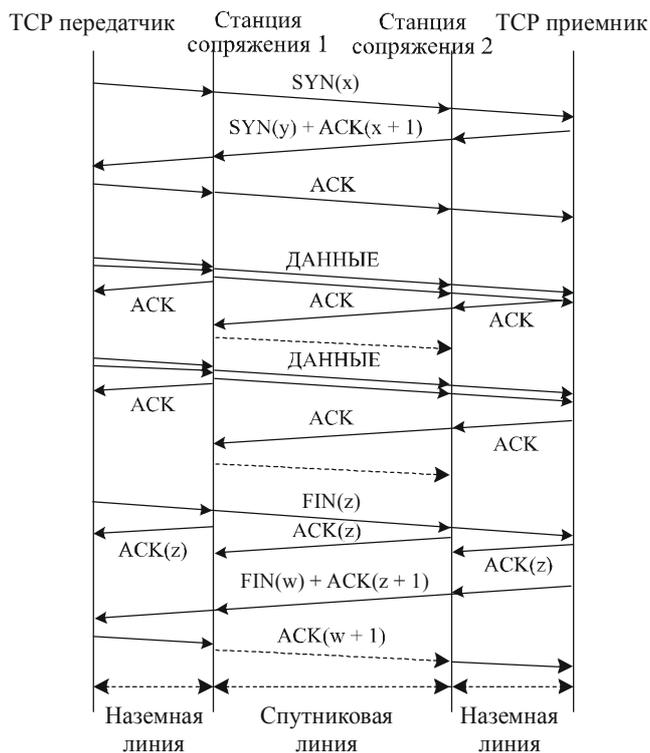


РИСУНОК 9

Метод деления на три сегмента



Последовательность передачи с делением на три сегмента

1711-09

3.3 Пояснения

Применение методов сегментирования оправдано, когда значения R_{AB} и R_{BA} на рисунке 1 превышают 256 кбит/с. Когда функции станции сопряжения активизированы, суммарная пропускная способность ТСП¹ будет превышать 70% от скорости передачи спутниковой линии (R_{AB} и R_{BA} на рисунке 1) в обоих направлениях, при условии, что КОБ = 10^{-8} , а время передачи сигнала в обоих направлениях = 700 мс. Максимальное число улучшенных ТСП соединений зависит от конфигурации оборудования станции сопряжения (например, скорость CPU, наличие RAM).

4 Посредники для повышения качества

Посредники для повышения качества (PEP) – это решения для ТСП на линиях спутниковой связи, реализованные "де-факто" (см. IETF RFC 3135 "Посредники для повышения качества, предназначенные для снижения степени ухудшения параметров линий" (2001 г.)). Существует несколько типов PEP, которые могут быть реализованы на любом уровне протокола. Некоторые PEP работают на канальном уровне, но они выходят за рамки данной Рекомендации. Большая часть PEP транспортного уровня протокола разработаны так, чтобы они взаимодействовали с ТСП и противостояли недостаткам, свойственным протоколу ТСП на линиях спутниковой связи. Такие PEP прозрачны для протоколов сквозных приложений.

¹ Суммарная пропускная способность ТСП определяется как сумма мгновенных значений пропускной способности всех сквозных ТСП соединений в сети.

Реализации различных РЕР могут быть симметричными или асимметричными, и иногда они классифицируются по их уровню прозрачности. На одном конце шкалы находятся РЕР, которые абсолютно прозрачны для конечных систем, пунктов назначения и/или приложений и не требуют никаких модификаций конечных систем. В случае отсутствия прозрачности РЕР может требовать модификаций систем одного или обоих конечных пользователей.

Существуют две основные стратегии разработки РЕР: имитация ТСП и сегментирование ТСП (см. § 3). В обоих случаях цель состоит в том, чтобы сделать сегменты спутниковой сети с большим временем запаздывания или с большими потерями, невидимыми для остальной сети, сохраняя при этом прозрачность в отношении приложений.

4.1 Имитация ТСП

Принцип имитации ТСП состоит в том, что маршрутизатор (станция сопряжения), расположенный вблизи источника сигнала, сам отправляет подтверждения приема сегментов ТСП, создавая у передатчика иллюзию пути с малой задержкой, что ускоряет передачу данных ТСП передатчиком. Затем станция сопряжения подавляет поток подтверждений, приходящих от спутниковой станции, и сама передает повторно потерянные данные.

4.2 Механизм работы посредников для повышения качества (РЕР)

Механизмы РЕР это – разреживание подтверждений, регенерация подтверждений, локальные подтверждения, локальные повторные передачи, туннелизация для управления маршрутизацией пакетов, компрессия заголовков, компрессия передаваемых данных и мультиплексирование с приоритетами.

4.3 Предпосылки применения РЕР

4.3.1 Сквозная безопасность тракта

Никакие РЕР не способны работать с зашифрованными сообщениями, например, с протоколом IPSEC, поскольку для их реализации необходимо прочесть заголовки IP пакетов и, в некоторых вариантах, генерировать IP пакеты от лица конечной системы. Как правило, с РЕР могут использоваться механизмы безопасности, расположенные на транспортном уровне или выше (например, TLS или SSL).

4.3.2 Сквозная надежность тракта

В архитектурах, предполагающих применение РЕР, приложения не могут полагаться на низкоуровневые подтверждения (например, ТСП) для гарантии надежной сквозной связи. Как правило, ТСП РЕР не имеет дела с подтверждениями прикладного уровня.

Приложение 3

Испытания и измеренные качественные показатели ТСП с улучшениями

1 Сфера применения

В Приложении 3 представлены результаты независимых экспериментов и измерений, выполненных для проверки работы некоторых методов, описанных в Приложении 2, и содержатся ценные сведения для проектировщиков спутниковых систем.

2 Качественные показатели TCP с сегментированием

Компании INTELSAT и KDDI выполнили измерения качественных показателей TCP с использованием сегментирования (деления на два сегмента и на три сегмента) для проверки эффективности этих методов. Результаты этих измерений приведены в данном разделе.

В параграфе 2.1 приведены результаты измерения качественных показателей для одного TCP соединения без станций сопряжения. Параграф 2.2 содержит результаты испытаний для деления на два сегмента. Параграф 2.3 – результаты испытаний для деления на три сегмента.

2.1 Качественные показатели TCP, измеренные без каких-либо улучшений

2.1.1 Измерение качественных показателей TCP соединения

В первом эксперименте измерялась пропускная способность TCP соединения. Испытания проводились как с улучшениями на станции сопряжения, так и без них, для двух значений задержки RTT – 200 мс с моделированием соединения с наземной WAN и 700 мс с моделированием объединения линии спутниковой связи с наземной магистральной сетью.

2.1.2 TCP без улучшений качественных показателей

Первый эксперимент был проведен на обычных TCP соединениях без улучшения их качественных показателей. Размер клиентского окна был установлен равным 8 кбайт, что соответствует установкам "по умолчанию" в Windows 95, Windows 98, Windows NT и многих других обычно используемых операционных системах. Задержка распространения сигнала в обоих направлениях была установлена равной 200 мс на наземной линии и равной 700 мс для комбинированной спутниковой/наземной линии.

2.1.3 Качественные показатели TCP соединения без улучшений

Максимальная пропускная способность без улучшений составила 320 кбит/с для наземных соединений и 91 кбит/с для линии спутниковой связи (см. рисунок 10). Эти результаты показывают, что без всяких улучшений максимальная пропускная способность TCP линии с одним соединением TCP будет примерно равна размеру окна

$$\frac{8 \text{ кбайт} \cdot 8 \text{ бит}}{RTT = 200 \text{ мс}} = 320 \text{ кбит/с},$$

даже если скорость передачи на линии возрастет.

РИСУНОК 10



2.2 Деление на два сегмента

2.2.1 Конфигурация спутниковых сетей

Для того чтобы проверить эффективность методов деления на два сегмента в различных условиях работы, были проведены следующие эксперименты:

TEST-A: Натурные испытания линии спутниковой связи на реальной системе VSAT

TEST-B: Измерение с эмулятором линии спутниковой связи

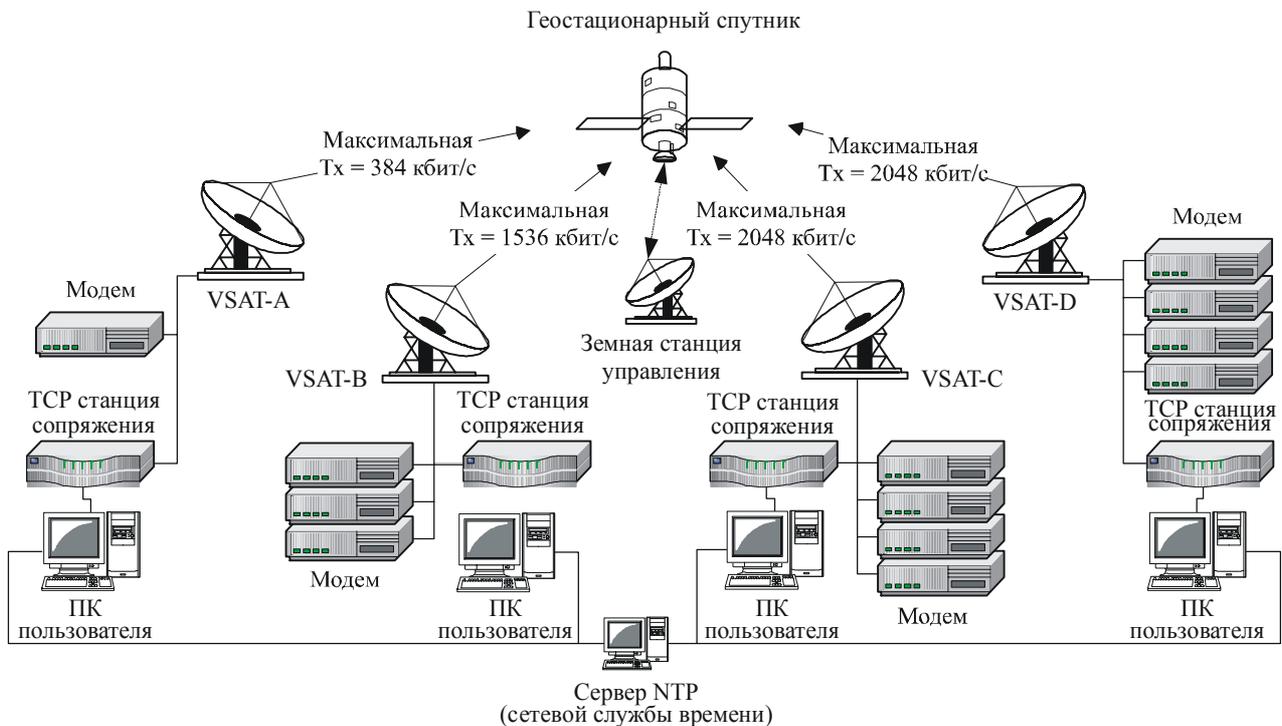
2.2.1.1 TEST-A: Натурные испытания на реальной системе VSAT

Во время испытания TEST-A были выполнены измерения на спутниковой IP сети стандарта DAMA топологии "Mesh", в которой применялась технология ОКН с различными скоростями передачи. Испытание предполагало измерение пропускной способности одного TCP и нескольких TCP соединений для различных скоростей передачи в канале, UDP соединения и смешанного соединения UDP+TCP. Испытания проводились с использованием как симметричной, так и несимметричной спутниковой сети со скоростями передачи 384 кбит/с, 1536 кбит/с и 2048 кбит/с.

Сеть, на которой проводился эксперимент TEST-A, показана на рисунке 11. Спутниковая сеть DAMA состоит из земной станции управления и четырех терминалов VSAT. Каждый терминал VSAT оборудован аппаратурой станции сопряжения, позволяющей реализовать метод деления на два сегмента для повышения пропускной способности в прямом направлении. Основные спецификации каждого терминала VSAT показаны в таблице 4. Отметим, что в данном испытании использовалось оборудование станции сопряжения двух типов (Тип 1 и Тип 2), поставленное различными производителями. Линия спутниковой связи была спроектирована так, чтобы готовность линии между терминалом VSAT и спутниковой станцией составляла 99,9%, а между двумя терминалами VSAT – 99,85%.

РИСУНОК 11

Конфигурация сети для эксперимента TEST-A



TCP станция сопряжения: Станция сопряжения, реализующая метод деления на два сегмента

ТАБЛИЦА 4

Спецификации земных станций VSAT

Земная станция	Размер антенны (м)	Выходной сигнал усилителя мощности (Вт)	Максимальная скорость передачи (кбит/с)	Поставщик TCP станции сопряжения
Станция управления	7,6	N/A	N/A	N/A
VSAT-A	1,2	10	384	Тип 1
VSAT-B	1,2	40	1 536	Тип 2
VSAT-C	1,8	40	2 048	Тип 2
VSAT-D	1,8	120	2 048	Тип 2

Земная станция	Операционная система	ЦП	Память (Мбит)	Приложение
VSAT-A	FreeBSD 4.3	Pentium III 1 ГГц	256	Iperf 1.1.1
VSAT-B	FreeBSD 4.3	Pentium III 1 ГГц	512	Iperf 1.1.1
VSAT-C	FreeBSD 4.3	Pentium III 1 ГГц	256	Iperf 1.1.1
VSAT-D	FreeBSD 4.3	Pentium III 1 ГГц	512	Iperf 1.1.1
Сервер NTP	Windows 2000	Pentium III 600 МГц	256	

Операционная система FreeBSD 4.5 установлена на всех ПК пользователей, которые затем по отдельности соединяются с сервером службы времени (NTP) для синхронизации работы компьютеров. На каждом терминале VSAT установлено программное обеспечение Iperf², которое генерирует IP пакеты и измеряет пропускную способность.

2.2.1.2 TEST-B: измерение с эмулятором линии спутниковой связи

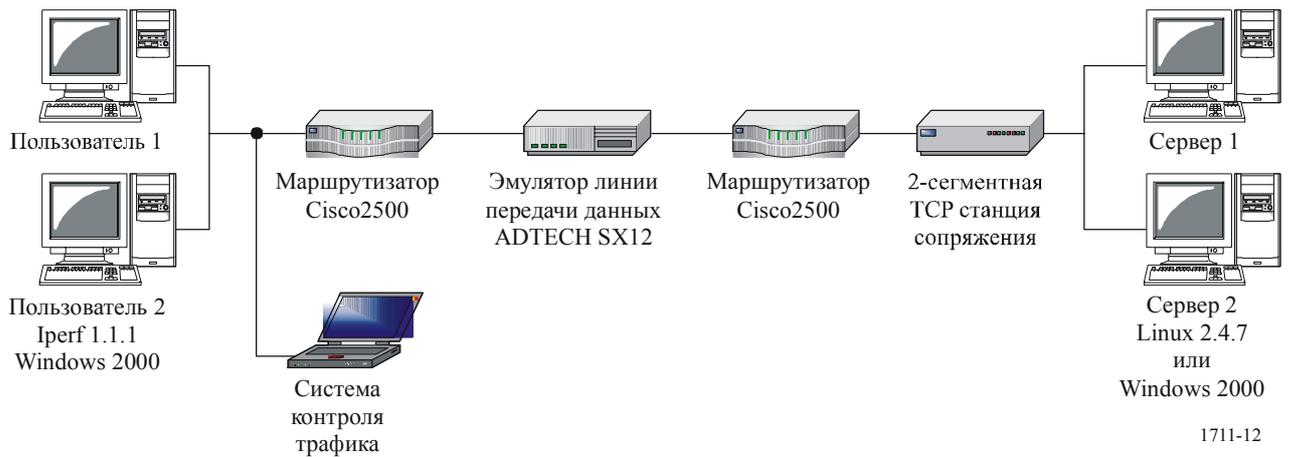
Во время эксперимента TEST-B: проведены измерения на сети пункт-пункт с применением эмулятора линии передачи, который может вносить ошибки и задержки. Эксперимент предполагал измерение пропускной способности для 1, 2, 4 и 8 одновременно работающих TCP соединений с различными скоростями передачи в канале (от 384 кбит/с до 1536 кбит/с) с моделированием разнообразных вероятностей появления ошибок (без ошибок, 10^{-8} , 10^{-7} , 10^{-6} , 10^{-5} ; случайные ошибки/импульсные ошибки), при задержке на спутниковой линии, равной 250 мс (в одну сторону). Для сравнения были измерены значения пропускной способности как с использованием оборудования станции сопряжения, так и без него.

Сеть, на которой проводились испытания, показана на рисунке 12. Сеть содержит эмулятор линии передачи данных, который моделирует условия работы линии спутниковой связи в сетях пункт-пункт. Эмулятор линии передачи данных использует последовательный интерфейс, на двух концах эмулятора линии передачи данных установлены маршрутизаторы, предназначенные для согласования с интерфейсом. На ПК пользователей установлена операционная система Microsoft Windows 2000 (SP2), а на сервере – либо Microsoft Windows 2000 (SP2), либо Linux Version 2.4.7.

² Iperf – это прикладная программа, предназначенная для генерирования трафика и измерения пропускной способности для IP пакета. Iperf version 1.1.1 – это бесплатное программное обеспечение, его можно загрузить с сайта: <http://dast.nlanr.net/Projects/Iperf1.1.1/release.html>.

РИСУНОК 12

Конфигурация сети для эксперимента TEST-B



2.2.2 Результаты испытаний

2.2.2.1 TEST-A

Было проведено четыре испытания в условиях чистого неба. Результаты испытаний приведены в следующих разделах:

- UDP соединение (§ 2.2.2.1.1)
- одно TCP/IP соединение (§ 2.2.2.1.2)
- несколько IP соединений (§ 2.2.2.1.3) (см. Примечание 1)
- один сеанс связи TCP (60% от скорости передачи канала) + UDP (40% от скорости передачи канала) (§ 2.2.2.1.4) (см. Примечание 2).

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Число сеансов связи для одного соединения составляет четыре. Некоторые терминалы VSAT не способны установить одновременно четыре TCP/IP сеанса связи.

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Пропускная способность, измеренная для UDP соединения, предполагается равной максимальной пропускной способности сеанса связи TCP.

Во время всех экспериментов наблюдалось улучшение, обеспечиваемое станцией сопряжения для метода деления на два сегмента, поскольку достигалась пропускная способность, превышающая 95% от максимальной пропускной способности.

2.2.2.1.1 Результаты для UDP соединения

ТАБЛИЦА 5

Скорость передачи в линии: 384 кбит/с, среднее значение: 360,2 кбит/с (93,8%)
(без служебных данных)

		Передатчик (скорость передачи в линии установлена равной 384 кбит/с)			
		VSAT-A (кбит/с)	VSAT-B (кбит/с)	VSAT-C (кбит/с)	VSAT-D (кбит/с)
Приемник (384 кбит/с)	VSAT-A		365	365	365
	VSAT-B	345		365	365
	VSAT-C	346	365		365
	VSAT-D	346	365	365	

ТАБЛИЦА 6

Скорость передачи в линии: 1536 кбит/с, среднее значение: 1463 кбит/с (95,2%)
(без служебных данных)

		Передатчик (скорость передачи установлена равной 1 536 кбит/с)			
		VSAT-A	VSAT-B	VSAT-C	VSAT-D
Приемник (384 кбит/с)	VSAT-A			1 463 кбит/с	

ТАБЛИЦА 7

Скорость передачи в линии: 2048 кбит/с, среднее значение: 1947,5 кбит/с (95,1%)

		Передатчик (скорость передачи установлена равной 2 048 кбит/с)			
		A (384 кбит/с)	B (1 536 кбит/с)	C (2 048 кбит/с)	D (2 048 кбит/с)
Приемник (1 536 кбит/с)	VSAT-B			1 946 кбит/с	1 949 кбит/с

2.2.2.1.2 Результаты для одного TCP соединения

ТАБЛИЦА 8

Скорость передачи в линии: 384 кбит/с, среднее значение: 349,2 кбит/с (96,9%)
(без служебных данных)

		Передатчик (скорость передачи установлена равной 384 кбит/с)			
		VSAT-A (кбит/с)	VSAT-B (кбит/с)	VSAT-C (кбит/с)	VSAT-D (кбит/с)
Приемник (384 кбит/с)	VSAT-A		359,0	359,0	359,0
	VSAT-B	327,8		358,5	358,3
	VSAT-C	328,0	348,3		357,8
	VSAT-D	328,0	358,5	348,3	

Таблица 8 содержит средние значения для четырех измерений.

ТАБЛИЦА 9

Скорость передачи в линии: 1536 кбит/с, среднее значение: 1397,5 кбит/с (95,5%)
(без служебных данных)

		Передатчик (скорость передачи установлена равной 1 536 кбит/с)			
		VSAT-A (384 кбит/с)	VSAT-B (1 536 кбит/с)	VSAT-C (2 048 кбит/с)	VSAT-D (2 048 кбит/с)
Приемник (384 кбит/с)	VSAT-A			1 397,5 кбит/с	

Таблица 9 содержит средние значения для четырех измерений.

ТАБЛИЦА 10

Скорость передачи в линии: 2048 кбит/с, среднее значение: 1890,1 кбит/с (97,1%)
(без служебных данных)

		Передатчик (скорость передачи установлена равной 2 048 кбит/с)			
		VSAT-A (384 кбит/с)	VSAT-B (1 536 кбит/с)	VSAT-C (2 048 кбит/с)	VSAT-D (2 048 кбит/с)
Приемник (1 536 кбит/с)	VSAT-B			1 888,3 кбит/с	1 891,8 кбит/с

2.2.2.1.3 Результаты для нескольких TCP соединений

ТАБЛИЦА 11

Скорость передачи в линии: 1536 кбит/с, среднее значение: 1370,5 кбит/с (95,5%)
(без служебных данных)

		Передатчик (скорость передачи установлена равной 1 536 кбит/с)			
		VSAT-A (384 кбит/с)	VSAT-B (1 536 кбит/с)	VSAT-C (2 048 кбит/с) (кбит/с)	VSAT-D (2 048 кбит/с) (кбит/с)
Приемник	VSAT-A (384 кбит/с)			360	338
				358	337
				345	329
				345	329
	Всего			1 408	1 333

ТАБЛИЦА 12

Скорость передачи в линии: 2048 кбит/с, среднее значение: 1910 кбит/с (98,1%)
(без служебных данных)

		Передатчик (скорость передачи установлена равной 2 048 кбит/с)			
		VSAT-A (384 кбит/с)	VSAT-B (1 536 кбит/с)	VSAT-C (2 048 кбит/с) (кбит/с)	VSAT-D (2 048 кбит/с) (кбит/с)
Приемник	VSAT-B (1 536 кбит/с)			759	680
				597	565
				562	657
				1 918	1 902
	Всего				

2.2.2.1.4 Результаты для комбинации сеансов связи UDP и TCP

ТАБЛИЦА 13

Комбинация одного TCP (60%) соединения и одного UDP (40%) соединения

		Передатчик (384 кбит/с)			
		VSAT-A (384 кбит/с)	VSAT-B (1 536 кбит/с)	VSAT-C (2 048 кбит/с) (кбит/с)	VSAT-D (2 048 кбит/с) (кбит/с)
Приемник	VSAT-B			1 241 687	1 102 841

Верхняя строка: TCP соединение; нижняя строка: UDP соединение.

2.2.2.2 TEST-B

Результаты экспериментов TEST-B показаны на рисунках 13–17. Пропускная способность для 1, 2, 8 сеансов связи TCP равна сумме значений пропускной способности всех сеансов связи TCP. Во время всех испытаний наблюдалось улучшение, обеспечиваемое станцией сопряжения для метода деления на два сегмента.

Как можно видеть на рисунках 13 и 14, если станция сопряжения не активизирована, максимальная пропускная способность для одного сеанса связи TCP/IP ограничена величиной примерно 200 кбит/с. Например, в случае двух сеансов связи TCP (см. рисунок 14) суммарная пропускная способность ("без станции сопряжения TCP") ограничена значением примерно 400 кбит/с. С другой стороны, в случае 8 сеансов связи TCP (см. рисунок 15) суммарная пропускная способность ("без станции сопряжения TCP") достигает примерно 1,5 Мбит/с, и между случаями "без станции сопряжения TCP" и "со станцией сопряжения TCP" нет заметной разницы.

При более высоких значениях КОБ (т. е. КОБ = 10^{-6}) эффект улучшения снижается, как показано на рисунке 16.

РИСУНОК 13

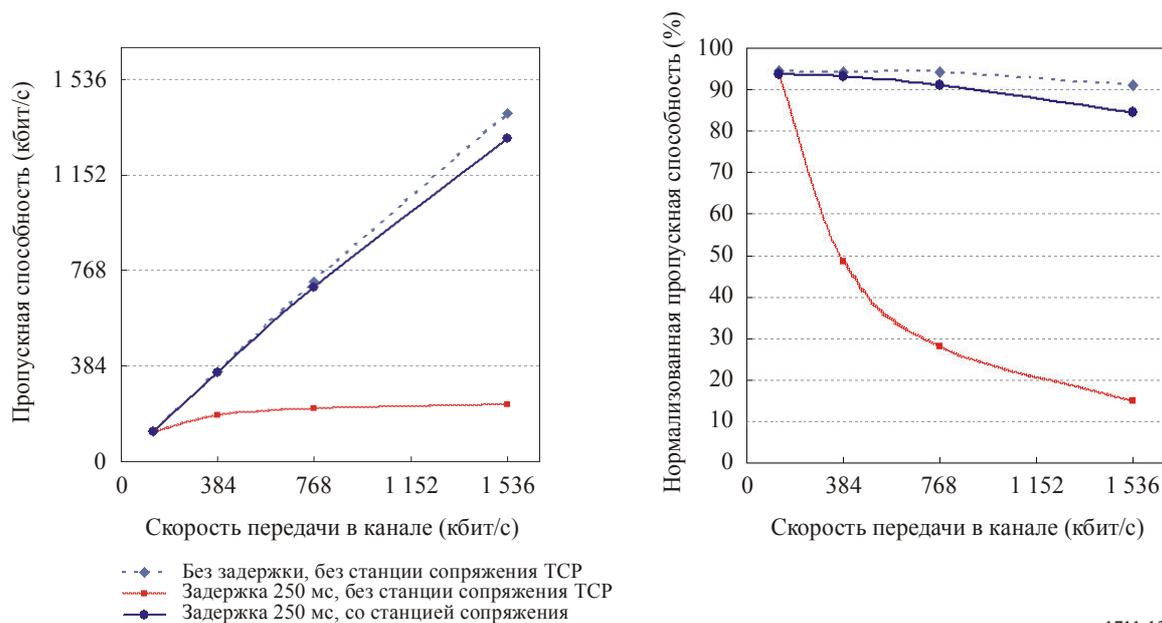
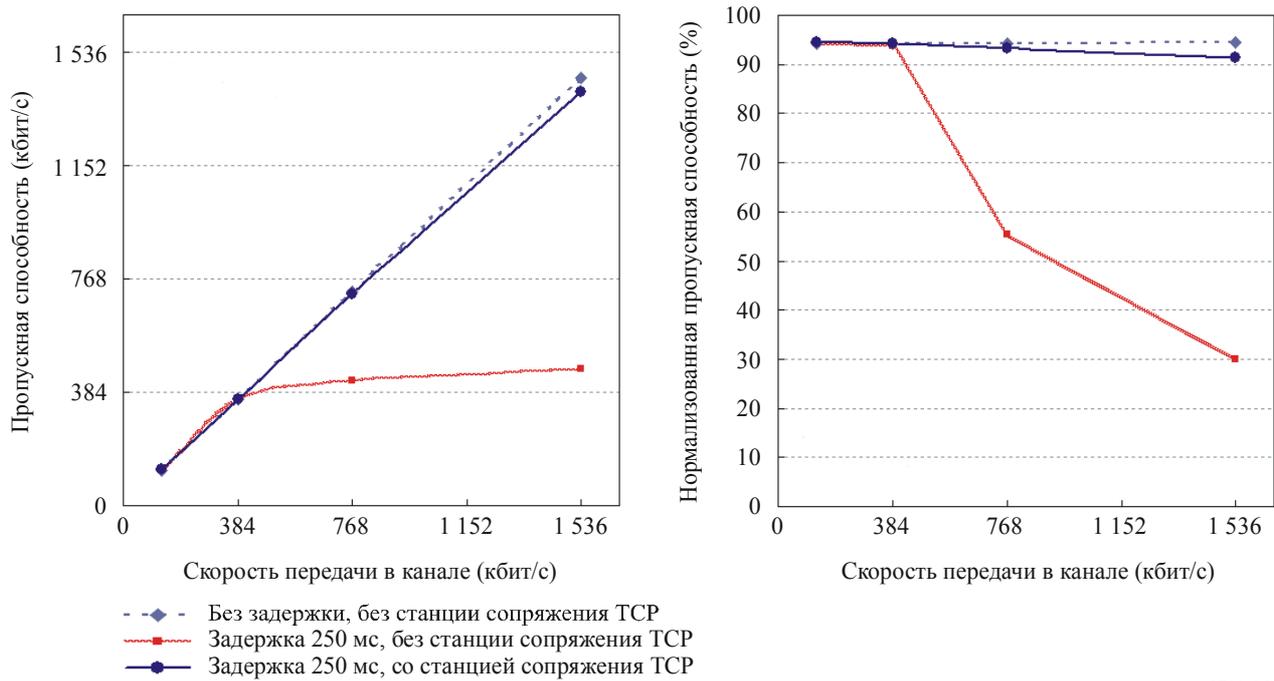
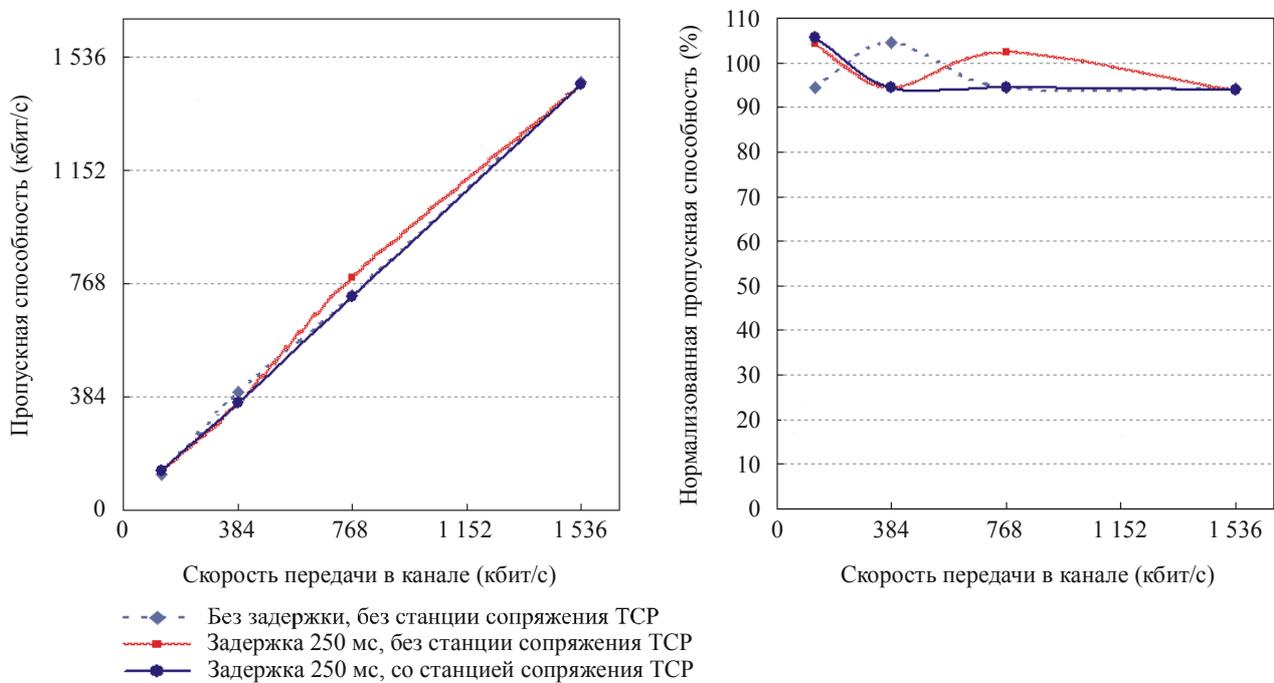
Результат для одного сеанса связи TCP (КОБ = 10^{-8})

РИСУНОК 14

Результат для двух сеансов связи ТСР (КОБ = 10^{-8})

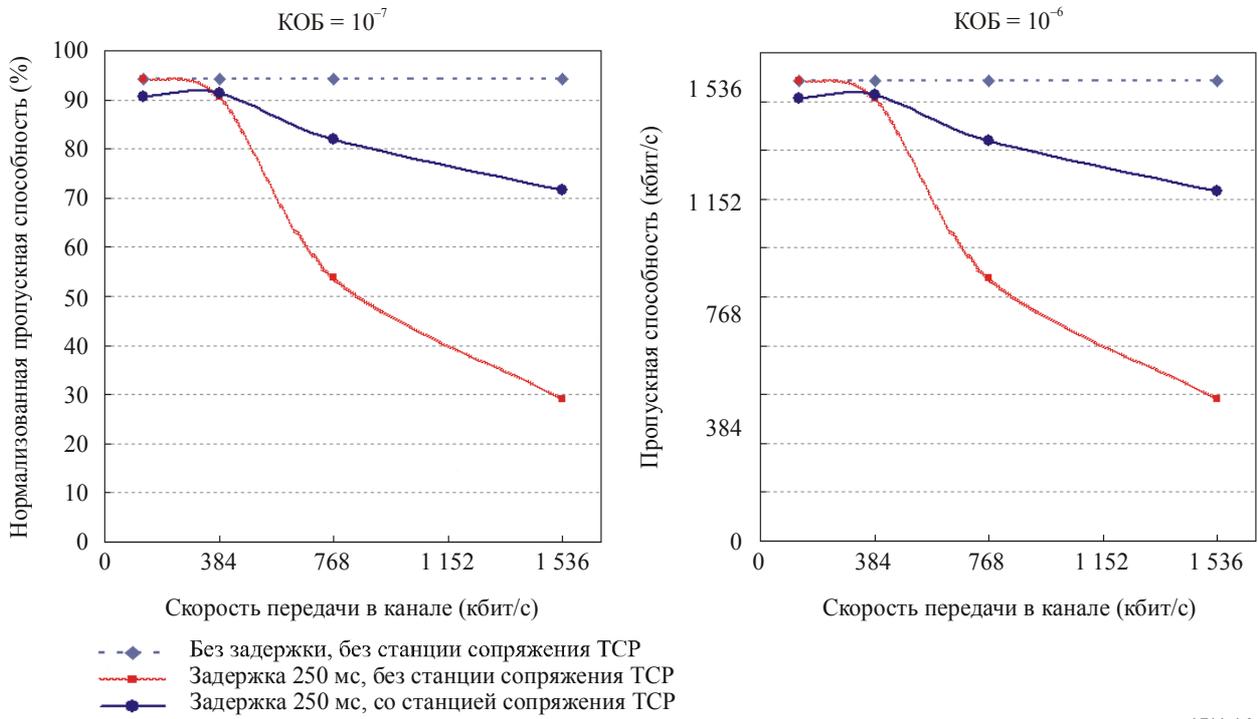
1711-14

РИСУНОК 15

Результат для восьми сеансов связи ТСР (КОБ = 10^{-8})

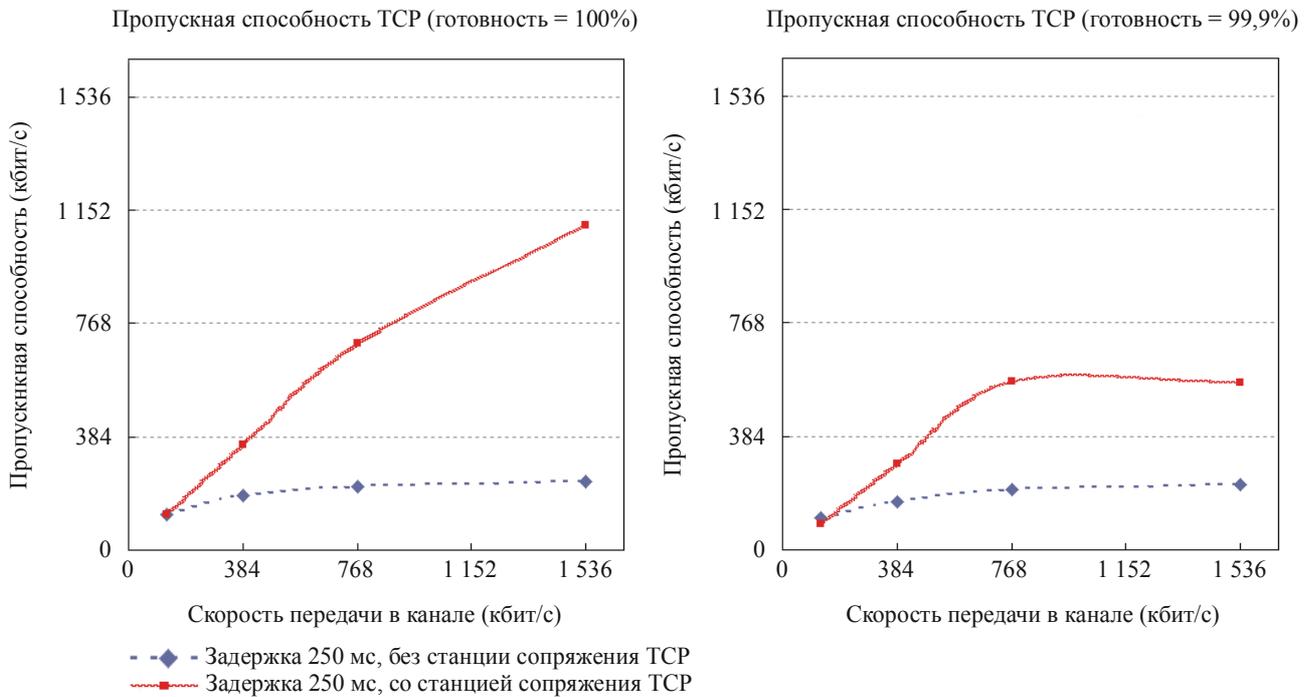
1711-15

РИСУНОК 16
 Результат для двух сеансов связи ТСП (КОБ = 10^{-7} , 10^{-6})



1711-16

РИСУНОК 17
 Результат для одного сеанса связи ТСП и различных случаев импульсных ошибок



1711-17

2.2.3 Выводы

Результаты показывают, что деление на два сегмента существенно повышает пропускную способность ТСП на спутниковой линии с КОБ = 10^{-7} и лучше. В 1, 2 и 8 одновременных ТСП соединениях и при свойственных спутниковым сетям длительных задержках достигнута суммарная пропускная способность, равная 95% нагрузки. Кроме того, показано, что деление на два сегмента пригодно и для симметричных, и для несимметричных спутниковых сетей.

Сегментирование равномерно распределяет нагрузку между действующими спутниковыми соединениями, что позволяет избежать нежелательного уменьшения окна передачи ТСП, предотвращая включение алгоритмов перегрузки. Реализация равномерного распределения нагрузки становится возможной благодаря тому, что между конечными пользователями ТСП появляется промежуточное звено в виде оборудования станции сопряжения.

2.3 Деление на три сегмента

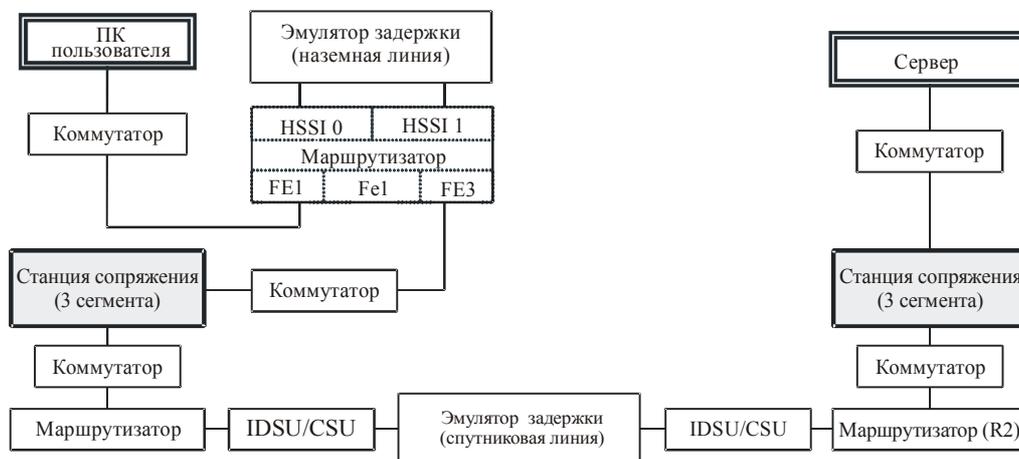
2.3.1 Конфигурация спутниковых сетей

Конфигурация сети для проведения испытаний показана на рисунке 18. Сеть содержит два канальных эмулятора, которые должны моделировать условия работы как линии спутниковой связи, так и наземной магистральной линии сети интернета. Для проведения испытаний только для линии спутниковой связи эмулятор наземной линии и маршрутизатор Cisco 7206 в работе сети не использовались. Компьютер пользователя был присоединен непосредственно с коммутатору Ethernet, связанному со станцией сопряжения ТСП.

В качестве компьютера пользователя и сервера использовались машины Sun Enterprise 450 ($2 \times$ UltraSPARC-II 296 МГц) с объемом памяти 2048 Мбайт, на которых была установлена операционная система Solaris 7. В генераторе нагрузки использовалось прикладное программное обеспечение клиент-сервер.

РИСУНОК 18

Конфигурация сети для проведения испытаний



Примечание 1. – "Коммутатор" – это Ethernet коммутатор 100 Мбит/с

1711-18

2.3.2 Процедуры испытаний

Цель – провести независимые испытания эффективности протоколов станции сопряжения при различных нагрузке, скоростях передачи ТСП соединений и коэффициентов ошибок для типовых спутниковых линий. Кроме моделирования спутниковых сетей, в ходе экспериментов изучалось влияние перегрузки интернет-трафика на сквозную пропускную способность как в присутствии станции сопряжения ТСП, так и при ее отсутствии.

Было выполнено три типа экспериментов:

Эксперимент 1: Измерение пропускной способности одного ТСП соединения для различных полос канала

В ходе экспериментов моделировались высокоскоростные приложения LAN и Internet-2, в которых ведется скоростная передача больших файлов, и сравнивались качественные показатели при наличии протокольной станции сопряжения TCP и в ее отсутствие.

Эксперимент 2: Несколько TCP соединений с фиксированной полосой на каждое соединение

В ходе экспериментов изучалось улучшение качества от применения протокольной станции сопряжения для линий интернет-провайдеров, поддерживающих большое количество мелких TCP соединений. Испытания проводились для задержек передачи сигнала в обоих направлениях, равных 200 мс при моделировании наземных линий WAN, и 700 мс при моделировании комбинации спутниковой линии, имеющей задержку 500 мс передачи сигнала от пользователя к интернет-магистрале и задержку 200 мс передачи сигнала на сервер. Для простоты и задержка, и биты ошибки добавлялись в одной точке, при этом протокольные станции сопряжения находились на обоих концах эмулятора линии.

Эксперимент 3: Несколько TCP соединений с потерей пакетов в наземной линии

Предыдущие эксперименты были расширены для изучения влияния задержек и ошибок в интернет-магистрале, без учета спутникового пролета. Был добавлен второй эмулятор линии, что позволило отдельно моделировать передачу по спутниковой и по наземной линиям. Задержка передачи сигнала в обоих направлениях для спутниковой линии была установлена 500 мс (без ошибок), а задержка для интернет-магистрала была установлена 200 мс, кроме того, были рассмотрены различные объемы потерь.

2.3.3 Результаты испытаний

2.3.3.1 Улучшение TCP с использованием протокольной станции сопряжения

В ходе этих экспериментов изучалось улучшение качества, полученное за счет применения протокольной станции сопряжения на одном TCP соединении. На рисунке 19 показана зависимость пропускной способности от полосы канала, когда задержка передачи сигнала в обоих направлениях равна 200 мс, и дается сравнение измеренной пропускной способности при использовании протокольной станции сопряжения с теоретической максимальной пропускной способностью TCP без каких-либо улучшений. На рисунке 20 показаны результаты испытаний, когда задержка передачи сигнала в обоих направлениях составляла 700 мс.

Ясно видно, что для обоих значений задержки – и 200 мс, и 700 мс – качество при использовании протокольной станции сопряжения на порядок лучше теоретической максимальной пропускной способности TCP. Даже при задержке 700 мс протокольная станция сопряжения позволяет TCP соединению реализовать преимущества доступности полной полосы частот.

РИСУНОК 19

Улучшение качества одного наземного TCP соединения за счет использования протокольной станции сопряжения

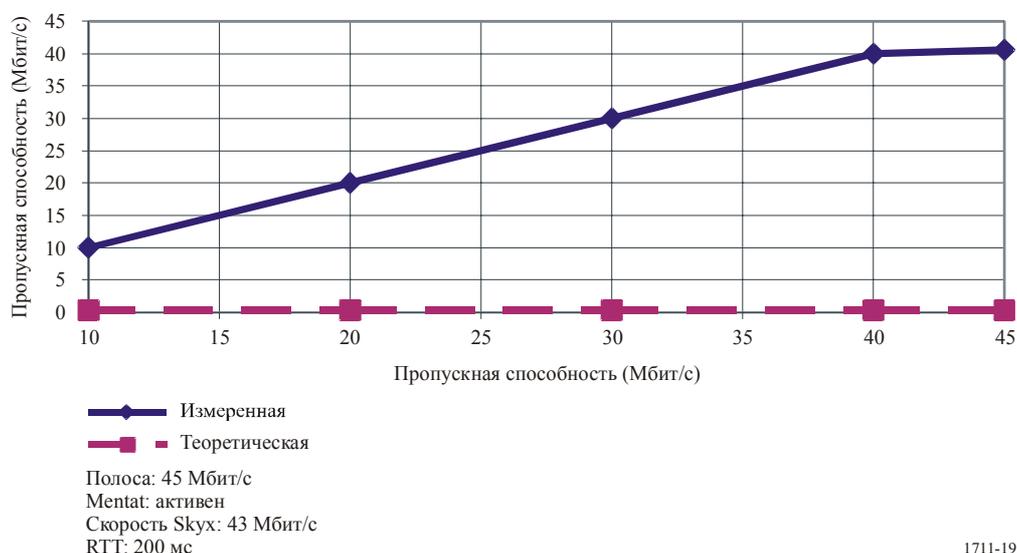
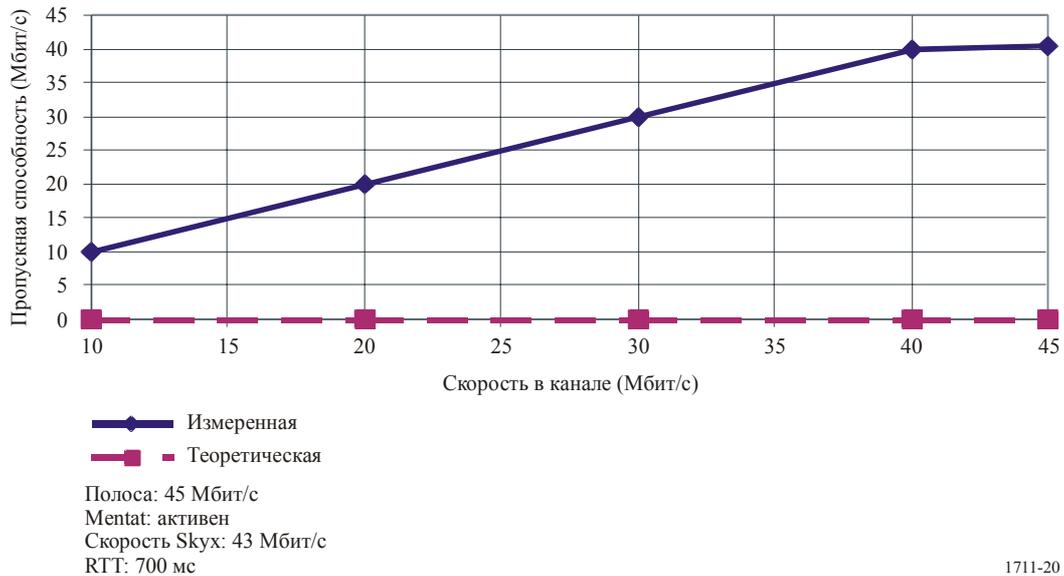


РИСУНОК 20

Улучшение качества одного спутникового TSP соединения за счет использования протокольной станции сопряжения



1711-20

2.3.3.2 Измерение качественных показателей нескольких TSP соединений

Интернет-провайдеры, предоставляющие услуги домашним пользователям, как правило, поддерживают на своих сетях не одно объемное TSP соединение, а большое количество мелких соединений. Скорости передачи в TSP соединениях, как правило, ограничиваются скоростями пользовательских соединений с сетью провайдера. Поэтому целью следующего блока экспериментов было изучить улучшение качественных показателей TSP в присутствии станции сопряжения TSP и при ее отсутствии, для большого количества TSP соединений, в каждом из которых скорость ограничена величиной 128 кбит/с. Эксперименты были проведены для двух значений задержки передачи сигнала в обоих направлениях – 200 мс и 700 мс с целью сравнить качество наземной и спутниковой линий. Для каждого из вариантов были проведены эксперименты с различными коэффициентами ошибок по битам.

2.3.3.3 Множество TSP соединений без улучшений

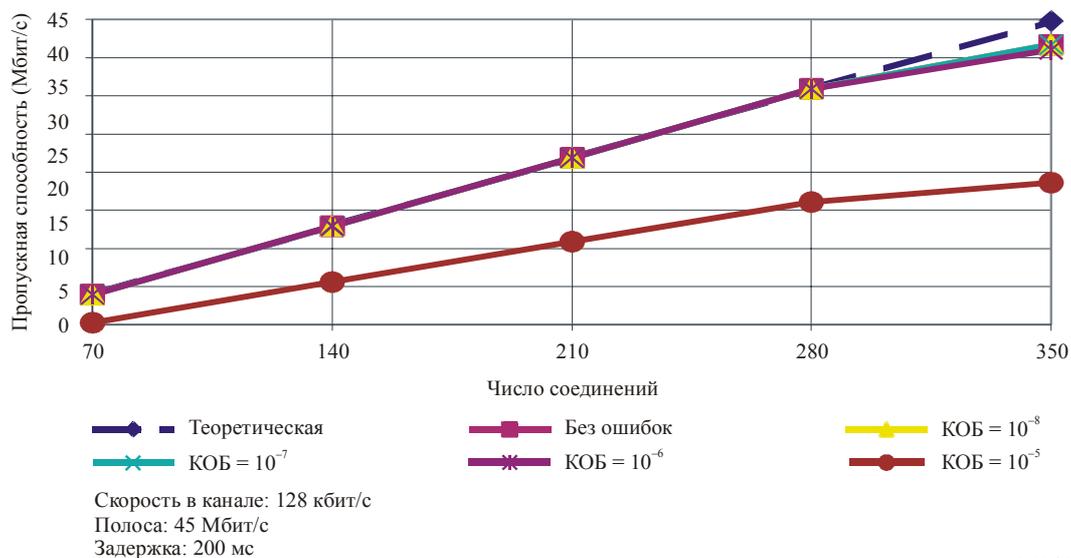
На рисунках 21 и 22 показана суммарная пропускная способность на линии между пользователем и сервером без каких-либо улучшений TSP для множества TSP соединений со скоростью 128 кбит/с каждое и при различных коэффициентах ошибок по битам. При ограничении скорости на одно соединение значением 128 кбит/с для заполнения канала емкостью 45 Мбит/с потребовалось бы 350 соединений.

На рисунке 21 показана суммарная пропускная способность для наземной линии. При задержке 200 мс протокол TSP способен обеспечить суммарную пропускную способность вблизи значений теоретического максимума всегда, кроме случаев с очень большими коэффициентами ошибок по битам.

На рисунке 22 показана суммарная пропускная способность для соединения с использованием спутниковой линии. При задержке 700 мс, даже в отсутствие ошибок, пропускная способность TSP ограничена величиной 31 Мбит/с для 350 соединений. При больших коэффициентах ошибок по битам качество TSP резко падает.

РИСУНОК 21

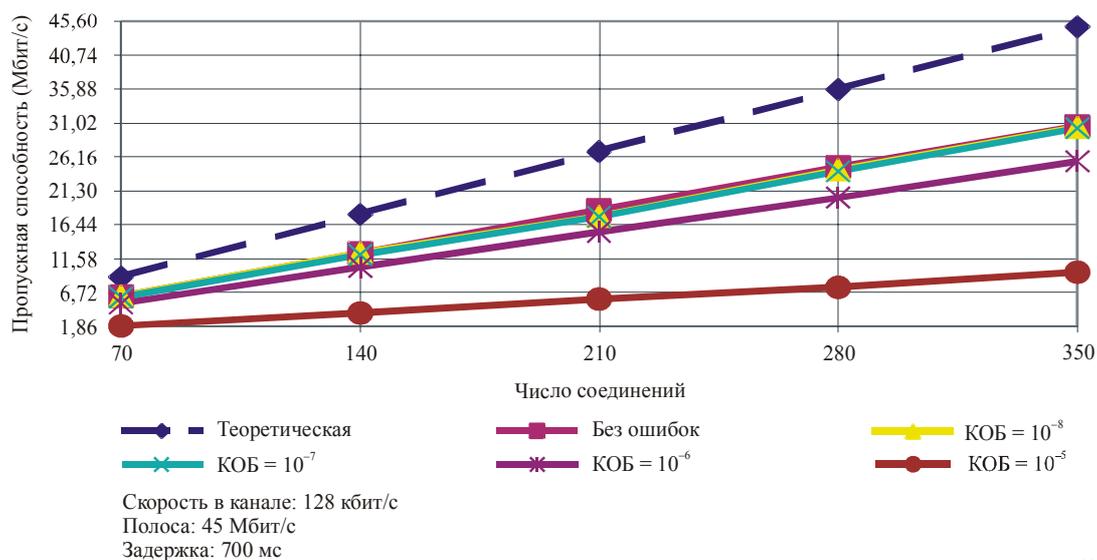
Множество ТСР соединений на наземной линии без улучшений



1711-21

РИСУНОК 22

Множество ТСР соединений на спутниковой линии без улучшений



1711-22

2.3.3.4 Множество ТСР соединений с улучшениями за счет протокольной станции сопряжения

Рисунки 23 и 24 иллюстрируют влияние добавления в сеть протокольной станции сопряжения. На рисунке 23 показана суммарная пропускная способность для задержки 200 мс, а на рисунке 24 показаны результаты для задержки 700 мс.

В условиях как спутниковой, так и наземной связи протокольная станция сопряжения позволяет ТСР соединению использовать всю доступную полосу частот. Для обоих случаев качественные показатели почти идентичны теоретическому пределу для числа соединений до 280.

По сравнению с § 2.3.3.3, протокольная станция сопряжения дает почти 100-процентное улучшение по суммарной пропускной способности при 10-процентной потере пакетов (что соответствует КОБ = 1×10^{-5} для 1500-байтовых пакетов). В спутниковых сетях протокольная станция дает существенное увеличение суммарной полосы пропускания при малых коэффициентах ошибок по битам, а при 10-процентной потере пакетов суммарная пропускная способность для 350 соединений при наличии протокольной станции сопряжения составляет 33 Мбит/с по сравнению с только 10 Мбит/с для улучшенного ТСР.

РИСУНОК 23

Множество ТСР соединений на наземной линии с улучшениями за счет протокольной станции сопряжения

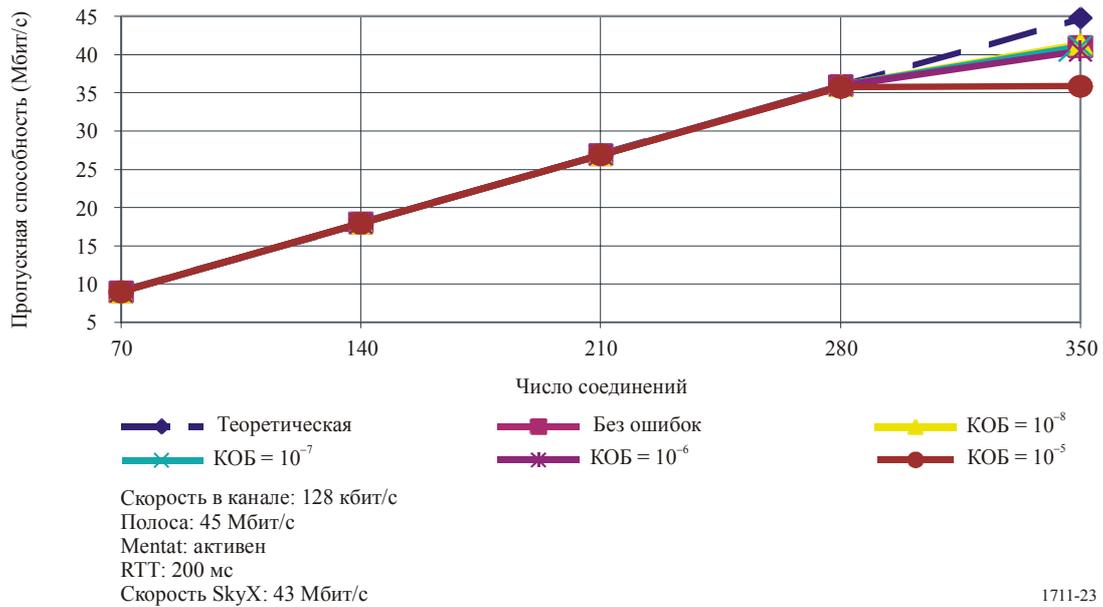
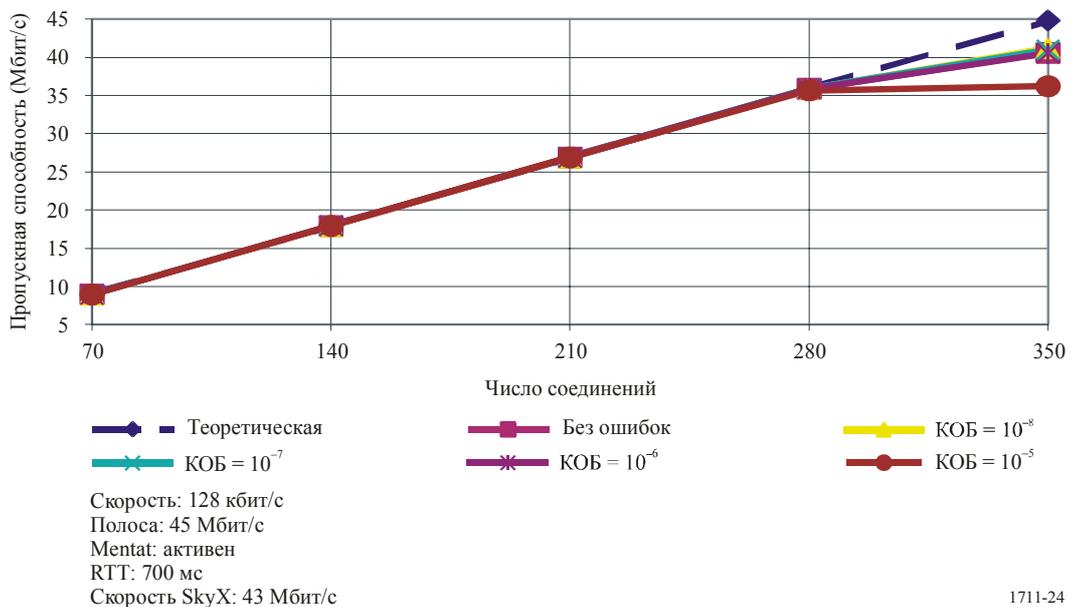


РИСУНОК 24

Множество ТСР соединений на спутниковой линии с улучшениями за счет протокольной станции сопряжения



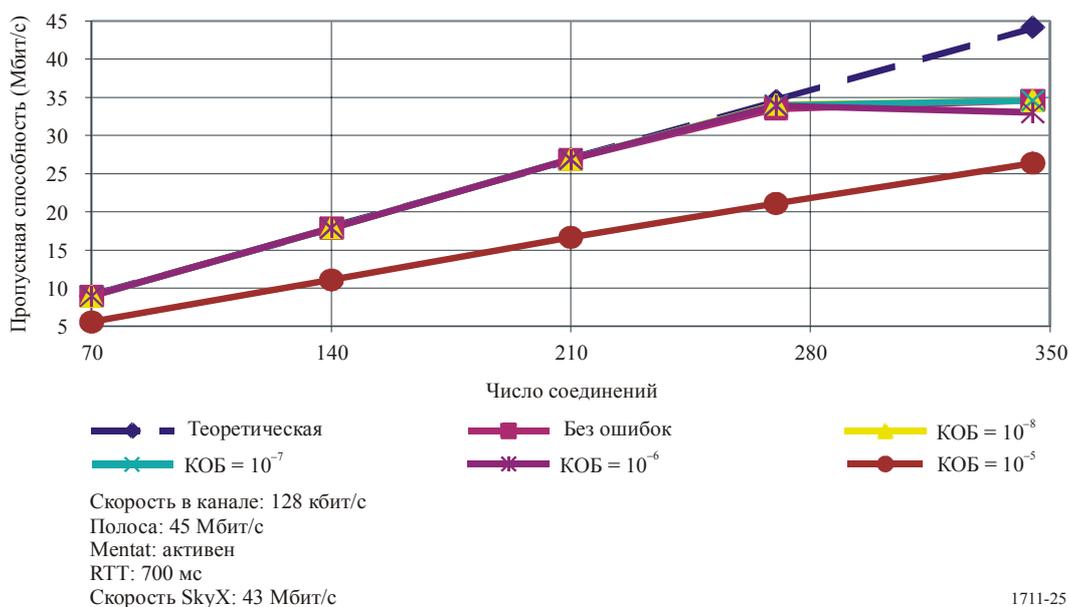
2.3.3.5 Множество TCP соединений с потерями данных на наземной линии

Рассмотрим качество связи пользователей интернета, пользующихся услугами спутниковых провайдеров. Такое соединение проходит по спутниковой линии и по наземной магистрали до сервера. При этом наблюдаются потери данных из-за перегрузки на интернет-магистрали. Для более точного моделирования условий работы пользователя соединение было разделено на спутниковую линию с задержкой 500 мс (без потерь данных) и на магистральный тракт с задержкой 200 мс и различными значениями ошибок. В этих экспериментах протокольные станции сопряжения находились на обоих концах спутниковой линии. Для той части соединения, которая шла по магистральному каналу интернета между сервером и протокольной станцией сопряжения, на стороне сервера использован стандартный TCP.

На рисунке 25 видно, что протокольная станция сопряжения позволяет поддерживать полную скорость передачи почти без ухудшений, кроме условий с потерей большого числа пакетов. Сравнивая рисунок 25 с рисунками 22 и 24, можно заметить, что протокольная станция сопряжения способна противостоять задержкам и ошибкам на линии спутниковой связи, а также задержкам и – по большей части – потере пакетов на линии магистральной связи.

РИСУНОК 25

Множество TCP соединений на комбинированной спутниковой/наземной линии с улучшениями за счет использования протокольной станции сопряжения



1711-25

2.3.4 Выводы

Результаты этого эксперимента показывают, что устройства разделения протокольной станции сопряжения/соединения могут повысить пропускную способность для провайдеров, передающих TCP трафик по линиям спутниковой связи с задержками до 700 мс. Эксперименты показывают также, что пропускная способность TCP не страдает до тех пор, пока КОБ на линии лучше, чем 10⁻⁷.

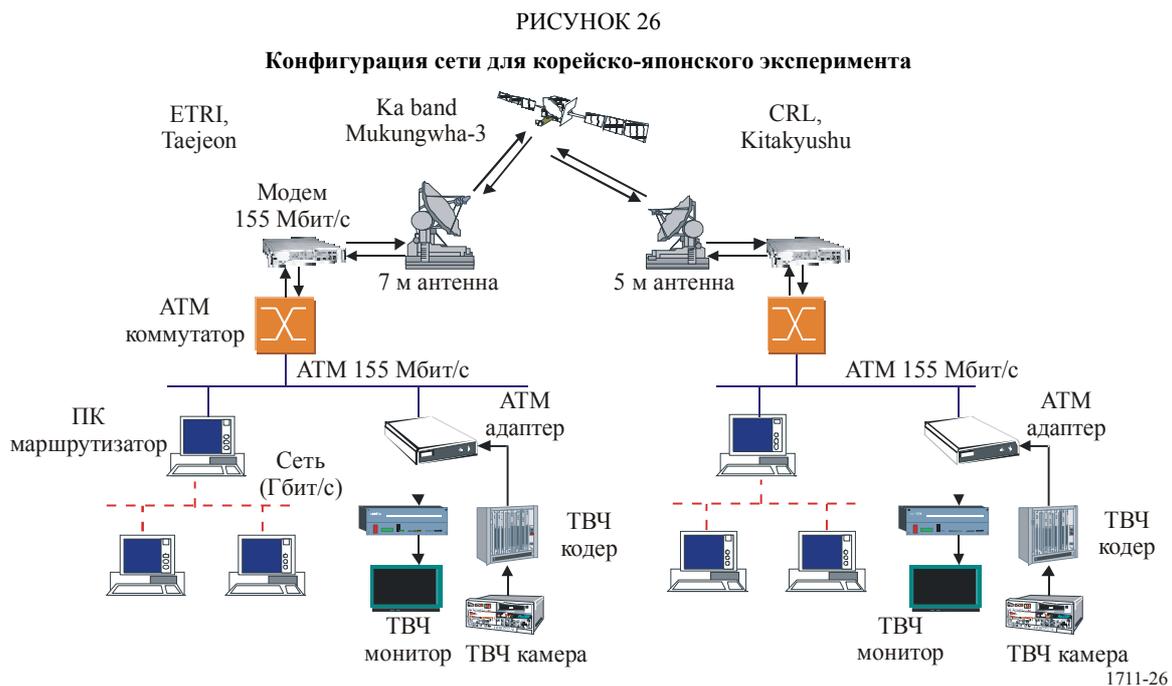
3 Качественные показатели TCP на спутниковых ATM сетях

В параграфе 3.1 описаны условия эксперимента и конфигурация сети. В параграфе 3.2 приведены результаты измерения пропускной способности TCP в ATM спутниковой сети. В параграфе 3.3 рассмотрено поведение TCP, когда широкополосная спутниковая ATM сеть соединена с высокоскоростными наземными сетями, например, гигабитным Ethernet. В параграфе 3.4 даны выводы, сделанные в ходе данного эксперимента.

3.1 Конфигурация сети

На рисунке 26 показана конфигурация корейско-японской высокоскоростной спутниковой ATM сети. В этом совместном эксперименте были установлены две земные станции с антеннами диаметром 7 м в НИИ электроники и телекоммуникаций (ETRI), Корея и диаметром 5 м в Лаборатории исследований в области связи (CRL), Япония. Основные параметры корейско-японской спутниковой ATM линии связи со скоростью передачи 155 Мбит/с были следующими:

- Спутник: Mukungwha-3
- Полоса частот: Земля-космос: 27,5–31 ГГц, космос-Земля 17,7–21,2 ГГц
- Максимальная мощность ЛБВ: 125 Вт
- Нормальная э.и.и.м. (Mukungwha-3): 71 дБВт
- G/T (угол места 45°): 32 дБ/К (минимум)
- ТС 8-ИКМ дуляция/демодуляция
- Кодирование: Рида-Соломона, конволюционное $K = 7, 7/8$
- Скорость передачи: 155,52 Мбит/с
- Выделенная полоса частот: 2 канала по 80 МГц.

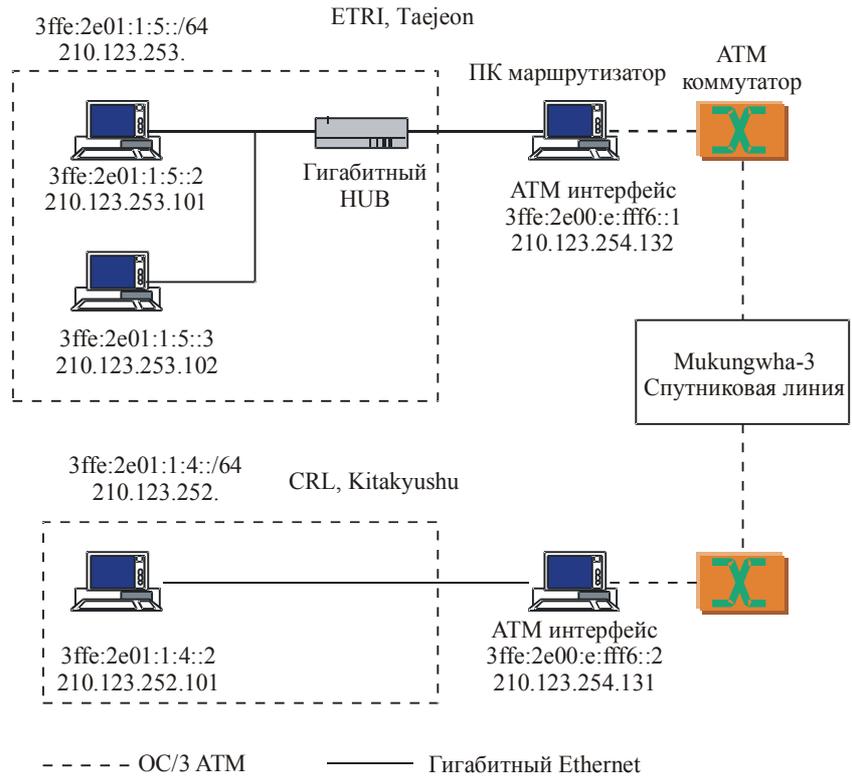


Целую сеть можно разделить на две сети – Гигабитную подсеть и ATM магистральную сеть ОС-3, содержащую геостационарную линию спутниковой связи. Две эти сети соединяют маршрутизаторы на основе ПК, которые имеют интерфейсы и с гигабитным Ethernet, и с ATM сетью. Экспериментальная сеть была сконфигурирована с адресами IPv4 и IPv6. Спутниковая ATM сеть использовалась для экспериментальной передачи сигналов MPEG.

Экспериментальная ATM сеть была построена для передачи трафика двух типов – трафика интернета и видео в реальном времени. На рисунках 27 и 28 показаны подробные конфигурации экспериментальной сети и стеки протоколов.

РИСУНОК 27

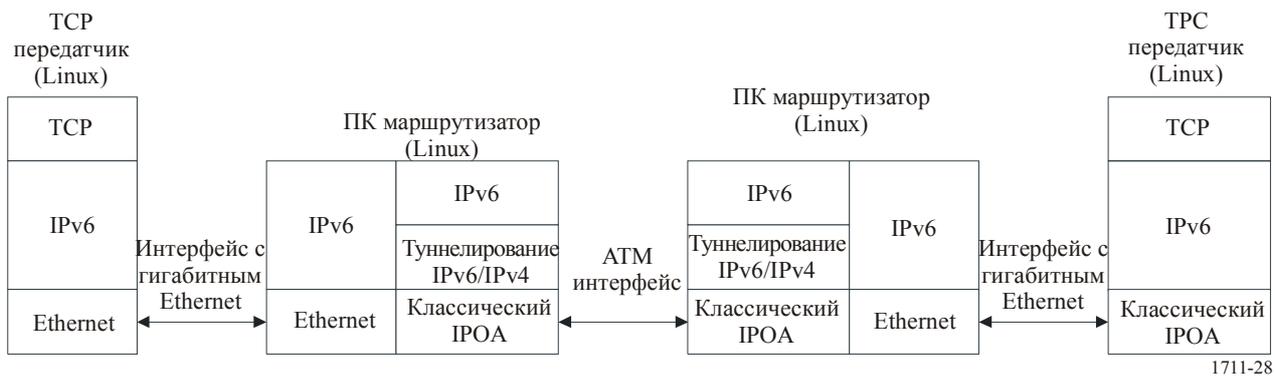
Конфигурация экспериментальной сети



1711-27

РИСУНОК 28

Стеки протокола экспериментальной сети, соединенной через ПК маршрутизатор

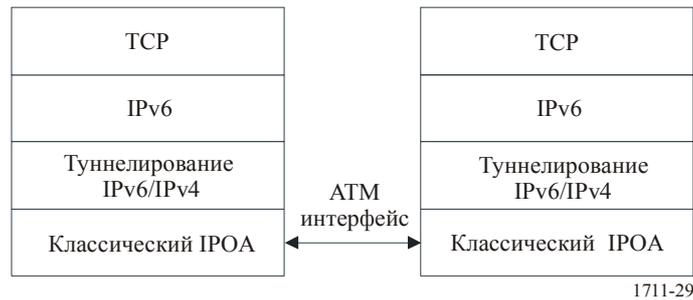


3.2 Качественные показатели TSP на спутниковых ATM сетях (без наземных сегментов)

Сначала измерялась пропускная способность TSP в чисто ATM сети с задержкой передачи сигнала в обоих направлениях через геостационарный спутник, равной 540 мс. Применялось туннелирование IPv6/IPv4, поскольку возможность применения IPv6 для IP передач в ATM сетях еще не полностью реализована. Стек протокола туннелирования IPv6/IPv4 для спутниковой ATM сети показан на рисунке 29.

РИСУНОК 29

Стеки протокола туннелирования IPv6/IPv4 в ATM соединении



Размер MTU для передачи IP по ATM сети, как правило, составляет 9180 байтов. Размер MTU на интерфейсе туннелирования IPv6/IPv4 составляет 9160 байтов, из-за того что размер заголовка IPv4 равен 20 байтов. Следовательно, максимальный размер MSS составляет 9100 байтов (размеры заголовков IPv6 и TCP равны 40 и 20 байтов соответственно). Однако когда для увеличения размера TCP окна в спутниковой ATM сети используется масштабирование TCP, размер MSS уменьшается на число необязательных байтов TCP. Когда IP пакеты инкапсулированы в AAL5, можно рассчитать теоретический максимум полосы пропускания. Число требуемых байтов заполнения составит:

$$PAD = 48 - ((8 + 20 + 40 + 20 + 9100 + 8) \text{MOD } 48) = 20.$$

Тогда процент использования CPU равен:

$$\eta = \frac{9100}{(8 + 20 + 40 + 20 + 9100 + 20 + 8)} = \frac{9100}{9224} = 0,986.$$

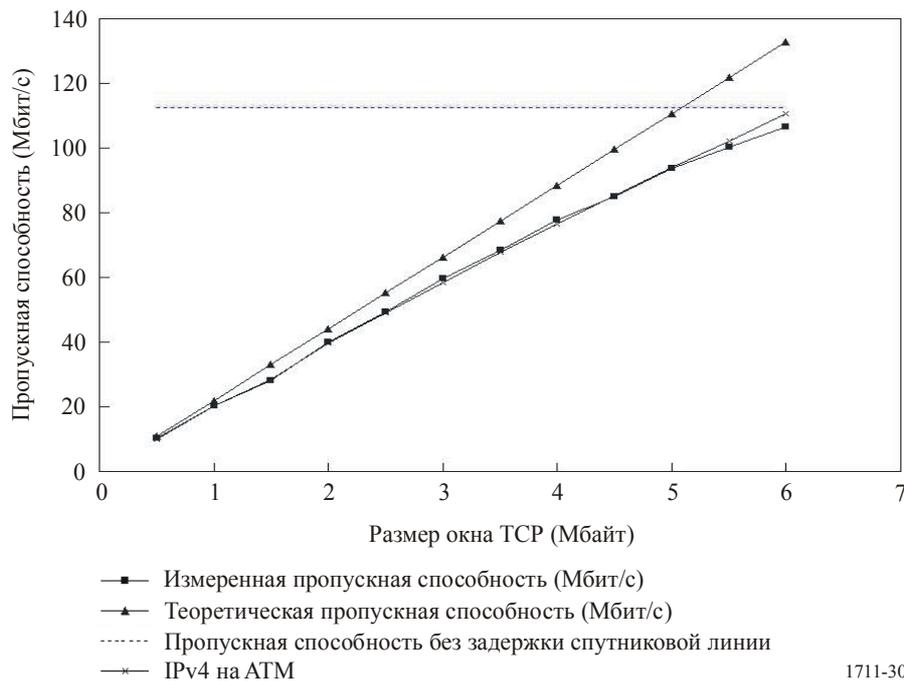
Чистая скорость передачи ячейки в STM-1 равна примерно 149 Мбит/с, а полоса для ATM нагрузки в 48-байтовых ячейках ATM равна примерно 134,94 Мбит/с. Следовательно, теоретический максимум полосы пропускания TCP в сети ОС-3 определяется выражением:

$$BW_{TCP} = 134,94 \cdot \eta \cong 133,05 \text{ Мбит/с}.$$

На рисунке 30 показана пропускная способность TCP для различных размеров TCP окна. Когда размер TCP окна составляет 6 Мбайт, достигались значения пропускной способности 113 Мбит/с при использовании IPv4 и 106 Мбит/с при использовании IPv6. Качественные показатели составляли 95% от пропускной способности на спутниковой линии без задержек. Затем была измерена пропускная способность TCP в чисто ATM сети с задержкой передачи сигнала в обоих направлениях через геостационарный спутник, равной 540 мс.

РИСУНОК 30

Пропускная способность ТСП на спутниковой АТМ сети с различными размерами ТСП окна



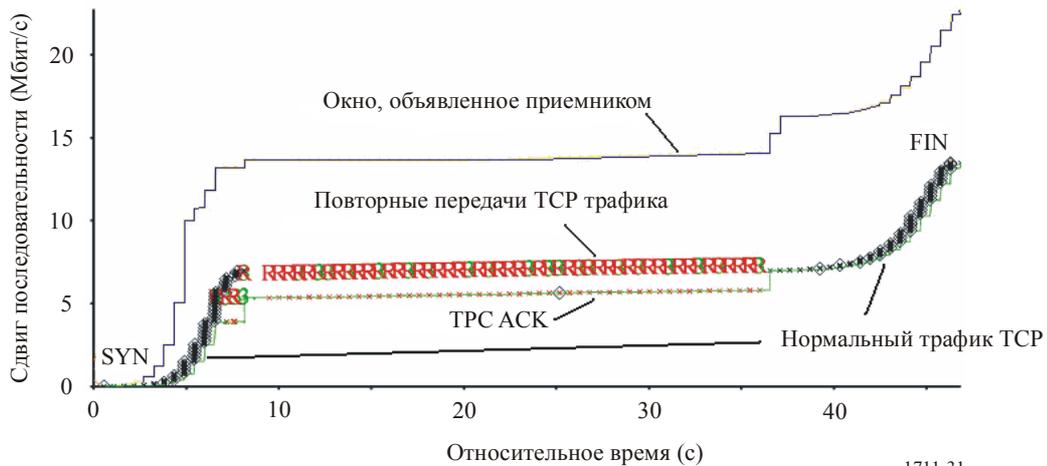
1711-30

3.3 Поведение ТСП в разнородных сетях, включающих спутниковые линии

Далее измерялась пропускная способность ТСП, когда источник сигнала располагался в одной гигабитной субсети, а адресат – в другой гигабитной субсети. Когда размер окна ТСП в спутниковой сети с задержкой 540 мс был установлен равным 6 Мбайт, максимальная пропускная способность достигалась только от 2 до 3 Мбит/с. Это происходило из-за импульсного характера ТСП трафика, обусловленного тем, что для хорошей пропускной способности в протяженных сетях с высокой пропускной способностью (LFN) устанавливается слишком большой размер ТСП окна. Когда для наиболее полного использования полосы пропускания протяженной LFN сети увеличивается размер ТСП окна, ТСП трафик становится импульсным, поскольку физический интерфейс передатчика (т. е. с гигабитным Ethernet) работает быстрее, чем магистральное АТМ соединение. Для предотвращения потерь пакетов промежуточный маршрутизатор должен иметь очень вместительный буфер. Существующие сегодня маршрутизаторы не имеют буферов, достаточно объемных для работы с большими ТСП окнами. Следовательно, потери пакетов на промежуточном маршрутизаторе снижают пропускную способность ТСП. На рисунке 31 показан график ТСП последовательности на ТСП передатчике. В течение первых 8 секунд мы наблюдаем затяжной ТСП пуск. С увеличением размера ТСП окна возникают потери пакетов, вызванные переполнением буфера промежуточного маршрутизатора. Потеря пакетов влечет за собой многочисленные повторные передачи. Протокол ТСП снова начинает процедуру затяжного пуска через довольно продолжительное время (примерно через 27 с). Затем снова повторяется тот же режим передачи (потеря пакетов и повторная передача), в результате общая пропускная способность ТСП становится чрезвычайно плохой.

РИСУНОК 31

График TCP последовательности на источнике TCP трафика

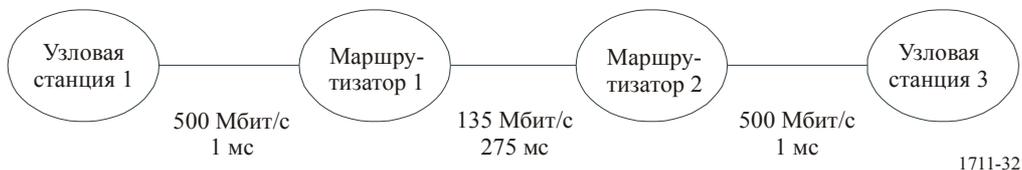


3.3.1 Моделирование размера буфера

Размер буфера промежуточного маршрутизатора можно оценить при помощи расчетов и моделирования. Конфигурация схемы моделирования, использующей сетевой эмулятор, показана на рисунке 32. В ходе моделирования максимальная доступная полоса частот TCP и ATM сетей была установлена равной 500 Мбит/с и 135 Мбит/с, соответственно.

РИСУНОК 32

Конфигурация схемы моделирования



Задержка в гигабитной подсети является незначительной по сравнению с задержкой в линии ATM на геостационарном спутнике и значением MSS сети Ethernet, которое в режиме IPv6 равно 1430 с. Следовательно, требуемый размер окна TCP составит:

$$W = \frac{BW \cdot RTT}{8} = \frac{135 \times 10^6 \times 0,540}{8 \times 1430} \cong 6374 \text{ пакетов.}$$

$R1$ и $R2$ – скорости передачи пакетов в гигабитной сети и ATM сети, соответственно ($R1 > R2$), скорость передачи TCP подтверждения определяется величиной $R2$ (самый медленный канал в сквозном соединении). Скорость передачи пакетов на фазе затяжного пуска равна $R1 = 2 \times R2$, поскольку при приеме одного подтверждения TCP передатчик передает два пакета. Предполагая, что W_{max} – это максимальный размер TCP окна во время затяжного пуска, число пакетов в очереди на промежуточном маршрутизаторе определяется выражением:

$$P(t) = [R1 - R2] \cdot t = [2 \cdot R2 - R2] \cdot t = R2 \cdot t$$

$$t = \frac{T}{R2}, 2 \cdot \frac{T}{R2}, 3 \cdot \frac{T}{R2} \dots \leq \frac{W_{max}}{2 \cdot R2},$$

где T – время начала окна TCP во время затяжного пуска.

Следовательно, максимальный размер пакета в очереди составляет:

$$P\left(\frac{W_{max}}{2 \cdot R2}\right) = R2 \cdot \frac{W_{max}}{2 \cdot R2} = \frac{W_{max}}{2}.$$

То есть во время затяжного пуска передатчик передает вдвое больше пакетов, чем принимает подтверждений за время одного периода RTT. Требуемый размер буфера очереди на промежуточном узле составляет половину максимального размера окна TCP, поскольку в начале периода RTT маршрутизатор принимает вдвое больше пакетов, чем передает, а затем в течение следующей половины периода RTT он устраняет эту очередь. Когда максимально доступная полоса для TCP в гигабитной сети и в ATM сети составляет 500 Мбит/с и 135 Мбит/с соответственно, теоретически требуемый размер буфера экспериментальной сети равен примерно 3187 пакетов. На рисунках 33 и 34 показан результат моделирования с применением сетевого эмулятора-2. На рисунке 33 показаны TCP последовательность, АСК и число пакетов в промежуточной очереди. На рисунке 34 показаны пропускная способность TCP на передатчике и приемнике в течение первых 10 секунд. Максимальная пропускная способность достигалась, когда размер буфера TCP равнялся примерно 6374 пакетам, а максимальная очередь промежуточного маршрутизатора в это время была равна 2279 пакетов.

РИСУНОК 33

ТСР последовательность, АСК и размер буфера для очереди на промежуточном маршрутизаторе

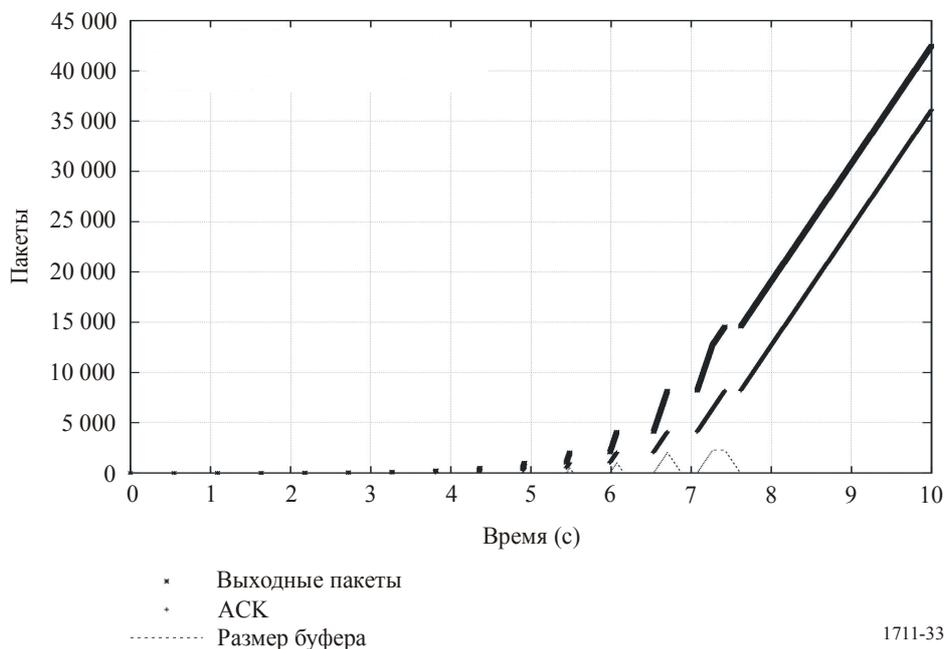
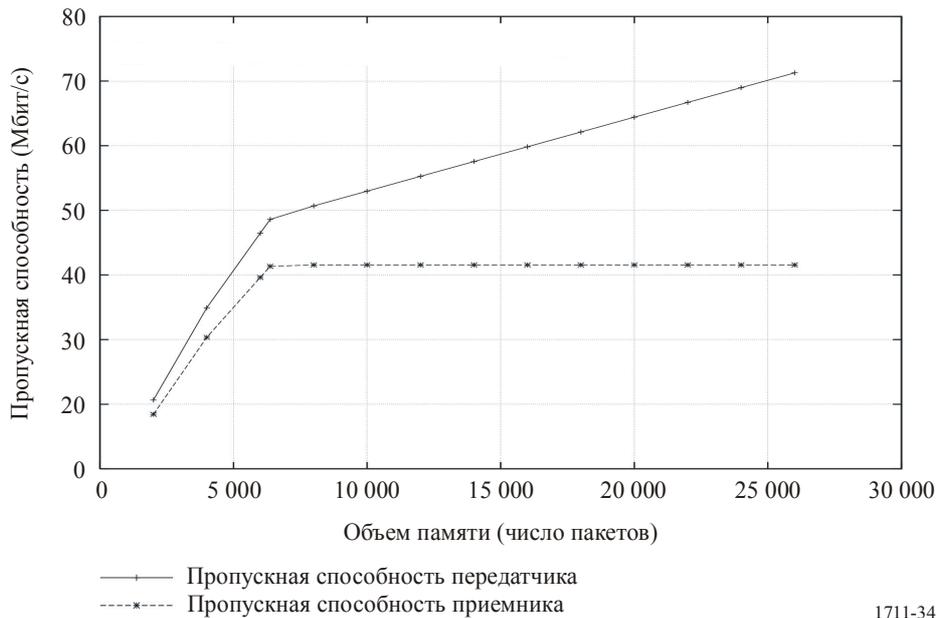


РИСУНОК 34

Значения пропускной способности ТСР при различных размерах буфера



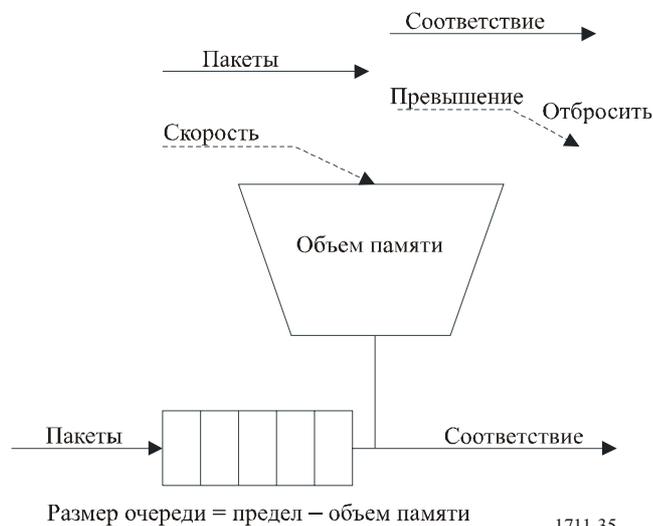
1711-34

3.3.2 Качественные показатели ТСР при регулировании трафика на передатчике

Затем использовался механизм управления формой трафика, называемый TBF (поддерживаемый продвинутой сетевой версией Linux). TBF регулирует скорость импульсного трафика ТСР. На рисунке 35 показаны базовые параметры TBF правил построения очереди. *Скорость* – это скорость, с которой память заполняется маркерами, она представляет собой среднюю скорость передачи в потоке трафика. *Объем памяти* или *размер пакета* – это число маркеров, которое может храниться в данном объеме памяти. Параметр *предел* – это сумма объема памяти и размера очереди. Если предел равен объему памяти, а размер очереди равен нулю, то пакеты, не соответствующие требованиям, отбрасываются. Так регулируется поток. Если предел больше объема памяти, то некоторые пакеты, не соответствующие требованиям, выстраиваются в очередь.

РИСУНОК 35

Базовые параметры TBF правил построения очереди

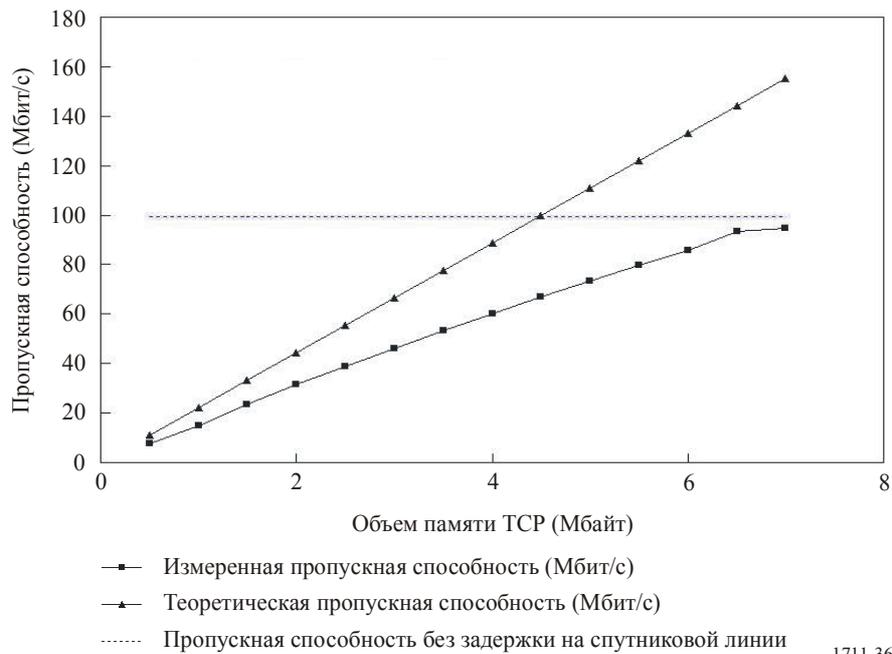


1711-35

На рисунке 36 показана пропускная способность ТСП с различными размерами объема памяти для случая, когда механизм TBF использовался в ТСП передатчике с фиксированным размером ТСП окна 6 Мбайт (для сравнения также показан случай, когда отсутствует задержка в спутниковой линии). На рисунке 37 показана пропускная способность ТСП с различными размерами объема памяти. Наилучшая пропускная способность получена при объеме памяти 120–130 кбит. Если объем памяти превышает 130 Мбайт, начинается потеря пакетов на промежуточном маршрутизаторе из-за импульсного характера ТСП трафика.

РИСУНОК 36

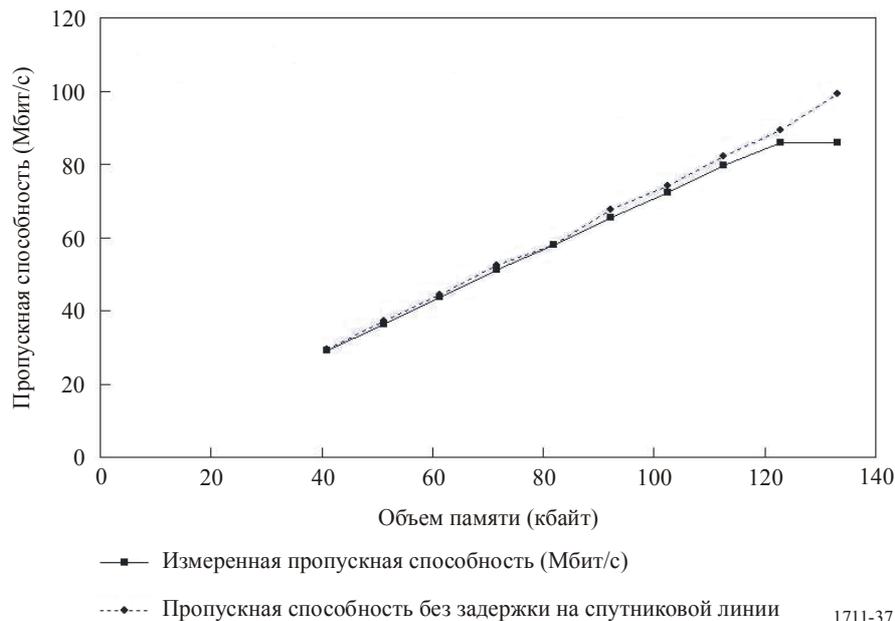
Значения пропускной способности ТСП с различными размерами объема памяти для случая, когда в ТСП передатчике использовался механизм TBF



1711-36

РИСУНОК 37

Значения пропускной способности ТСП с различными размерами объема памяти



1711-37

3.4 Выводы

Была измерена пропускная способность ТСП и проанализирован внутренний режим работы ТСП в разнородной высокоскоростной сети, включающей в свой состав геостационарную линию спутниковой связи. Ниже приведено краткое изложение результатов экспериментов:

1 Для получения в спутниковой сети максимальной пропускной способности ТСП, равной 155 Мбит, требуется ТСП буфер с объемом памяти примерно 6 Мбайт.

2 Когда источник ТСП сигнала находится в сети с другой средой передачи, которая работает быстрее, чем спутниковая АТМ магистральная сеть, требуются специальные механизмы для снижения импульсности трафика, обусловленной большими размерами ТСП окна. Можно рассмотреть два решения: большой буфер на промежуточных маршрутизаторах или регулировка трафика на источнике ТСП сигнала. Для решений с большим буфером на промежуточных маршрутизаторах был оценен и проверен в ходе моделирования размер буфера для очереди, необходимый для предотвращения потери пакетов из-за импульсного характера ТСП трафика. Для другого случая был рассмотрен механизм регулировки трафика на источнике ТСП сигнала: была достигнута пропускная способность примерно 95 Мбит/с (т. е. 95% от максимальной пропускной способности без задержки на спутниковой линии).

3 Возможность масштабирования окна ТСП для больших окон ТСП – это одно из решений для улучшения качественных показателей ТСП в сетях с большими задержками, каковыми являются сети, включающие в свой состав геостационарную линию спутниковой связи. Применение больших окон ТСП в сетях с большими задержками увеличивает пропускную способность до примерно 90% от теоретического максимума. Но большие ТСП окна в течение коротких промежутков времени генерируют импульсный ТСП трафик. Это особенно опасно для разнородных сетей, состоящих из различных физических сред передачи и различных канальных протоколов и протоколов управления, в которых из-за импульсного характера трафика наблюдается значительная потеря пакетов на промежуточном маршрутизаторе. Для того чтобы избежать такого положения дел, разработчик сети должен рассмотреть все возможные решения и проверить их действие в ходе экспериментов.

4 Качественные показатели ТСП в спутниковых сетях доступа

В настоящем разделе приведены результаты экспериментов, выполненных бразильской спутниковой компанией "Star One". В параграфе 4.1 описана архитектура сети, использованной для испытаний. В параграфе 4.2 приведены сведения об измерениях качественных показателей системы с использованием метода деления на три сегмента и их результаты.

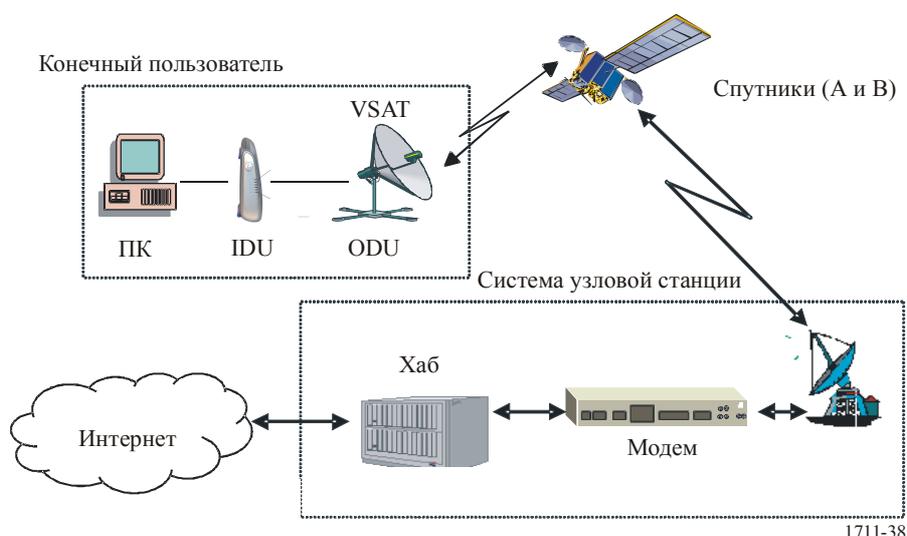
Локальные подтверждения приема на узловой станции и на терминале VSAT улучшают качественные показатели ТСП при устранении ограничений на размер окна. Локальные подтверждения устраняют механизм затяжного пуска и повышают эффективность использования пропускной способности ТСП. Компрессия IP заголовков, использованная в данном эксперименте, уменьшает перегрузку системы и повышает эффективность.

4.1 Архитектура и конфигурация сети

4.1.1 Архитектура сети

Архитектура системы включает в себя узловую станцию (Hub) с потоком сигнала DVB-S (исходящим) и выделенную линию обратной связи (входящую). Центральная узловая станция присоединена к магистральной линии интернета. На рисунке 38 показана архитектура системы, использованная для достижения требуемых качественных показателей.

РИСУНОК 38
Архитектура сети



1711-38

4.1.2 Конфигурация

4.1.2.1 Характеристики терминала VSAT и спутника

Два геостационарных спутника работают в диапазоне 14 068–14 214 кГц (Земля-космос) и 11 774–11 919 кГц (космос-Земля).

Каждая платформа использует прямой канал (исходящий) со скоростью 48 Мбит/с и 140 обратных каналов (входящих) по 76,8 кбит/с.

Система образует три кластера (Кластер 1, Кластер 2 и Кластер 3), использующих два различных спутника (спутник А и спутник В) в диапазоне частот 14/11 ГГц и в общей сложности 8000 терминалов VSAT, расположенных на территории Бразилии. RTT считается равным 800 мс.

Кластер имеет следующие характеристики:

Кластер 1 (Спутник А): разделен между 3 HSP и содержит примерно 1200 терминалов VSAT;

Кластер 2 (Спутник А): разделен между 3 HSP и содержит примерно 3200 терминалов VSAT;

Кластер 3 (Спутник В): разделен между 4 HSP и содержит примерно 3600 терминалов VSAT.

Характеристики терминала VSAT показаны в таблице 14. Различные значения необходимых отношений E_b/N_0 на исходящей линии показаны в таблице 15.

ТАБЛИЦА 14

Характеристики терминала VSAT

Используемые кластеры	Размер антенны (м)	Выходной сигнал усилителя мощности (Вт)	Максимальная скорость входящего канала (кбит/с)	Максимальная скорость исходящего канала (кбит/с)
1, 2 и 3	0,96	1	50	320

ТАБЛИЦА 15

Характеристики исходящего канала

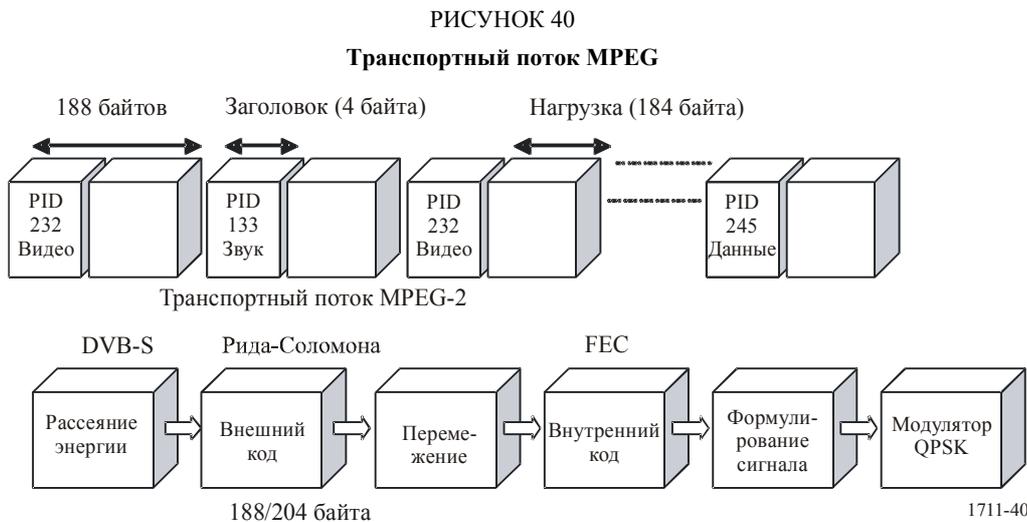
Коэффициенты FEC	Режим DVB-S
	Минимальное значение E_b/N_0 (дБ)
1/2	4,5
2/3	5,0
3/4	5,5
5/6	6,0
7/8	6,4

4.1.2.2 Протоколы

Протокол, используемый на линии от узловой станции до терминала VSAT (исходящий канал) – это транспортный поток MPEG-2 по DVB-S. Пакеты IP инкапсулируются, мультиплексируются и модулируются на узловой станции (Hub), как показано на рисунках 39 и 40.



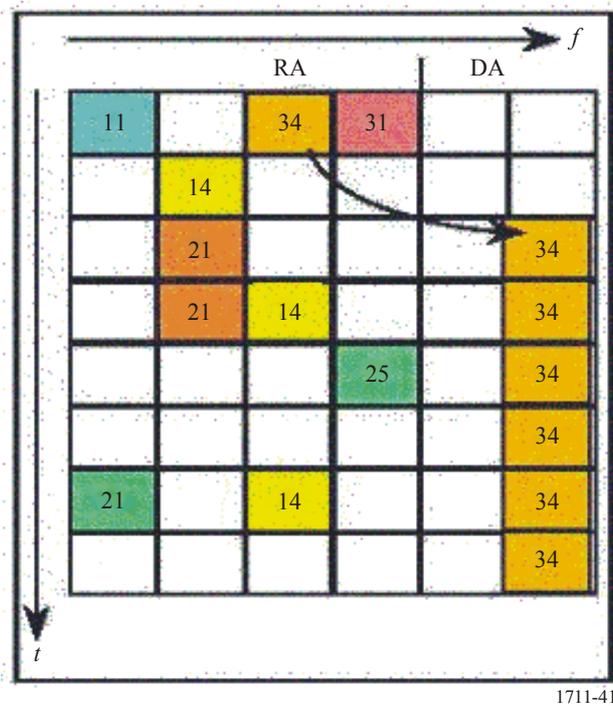
1711-39



1711-40

Обратные каналы (входящие каналы) – это каналы MF-МДВР, разделенные на каналы RA и каналы DA, как показано на рисунке 41.

РИСУНОК 41
Обратные каналы



4.2 Результаты измерения качественных показателей

При измерении доступности использовались кластеры 1, 2 и 3. При измерении пропускной способности и трафика использовались только кластеры 2 и 3.

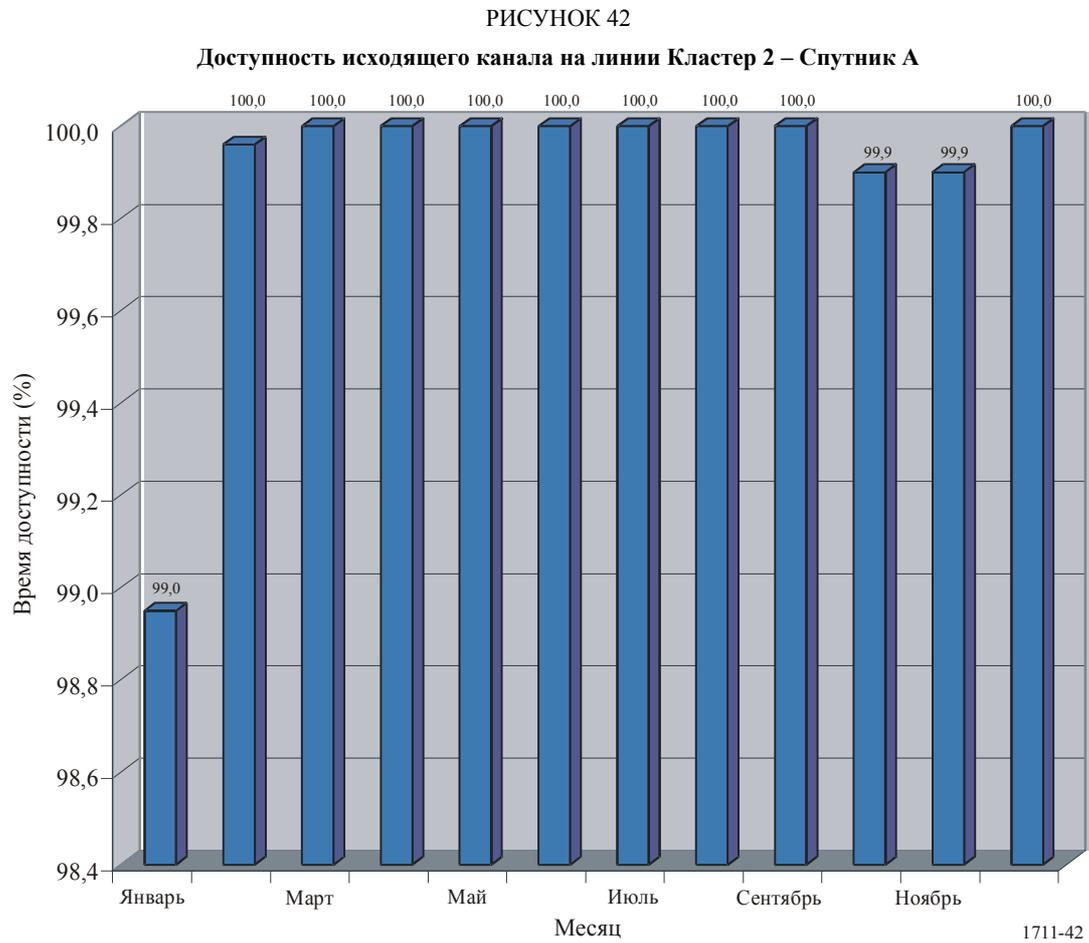
4.2.1 Доступность

В таблице 16 показаны значения доступности для каждого отдельного кластера, а также доступность и недоступность системы из-за воздействия дождя и иных атмосферных явлений для каждого месяца 2003 года.

ТАБЛИЦА 16
Доступность исходящего канала системы

Месяц	Кластеры			Система			
	Кластер 1	Кластер 2	Кластер 3	Доступность (дождь, сцинтилляции и т. д.)	Недоступность (дождь, сцинтилляции и т. д.)	Недоступность (дождь, сцинтилляции и т. д.)/в час (по месяцам)	Доступность (дождь, сцинтилляции и т. д.)/ в час (по месяцам)
Январь	100,0	99,0	N/A	98,6	1,4	10,416	733,584
Февраль	100,0	100,0	N/A	98,9	1,1	7,392	664,608
Март	99,9	100,0	N/A	99,8	0,2	1,488	742,512
Апрель	100,0	100,0	N/A	100,0	0,0	0,000	744,000
Май	100,0	100,0	99,9	100,0	0,0	0,000	720,000
Июнь	100,0	100,0	99,9	100,0	0,0	0,000	744,000
Июль	100,0	100,0	100,0	100,0	0,0	0,000	720,000
Август	100,0	100,0	100,0	100,0	0,0	0,000	744,000
Сентябрь	100,0	100,0	100,0	100,0	0,0	0,000	720,000
Октябрь	99,9	99,9	99,9	100,0	0,0	0,000	744,000
Ноябрь	100,0	99,9	100,0	99,9	0,1	0,720	719,280
Декабрь	100,0	100,0	100,0	99,9	0,1	0,744	743,256
В среднем за год	100,0	99,9	100,0	99,8	0,2	1,730	728,270

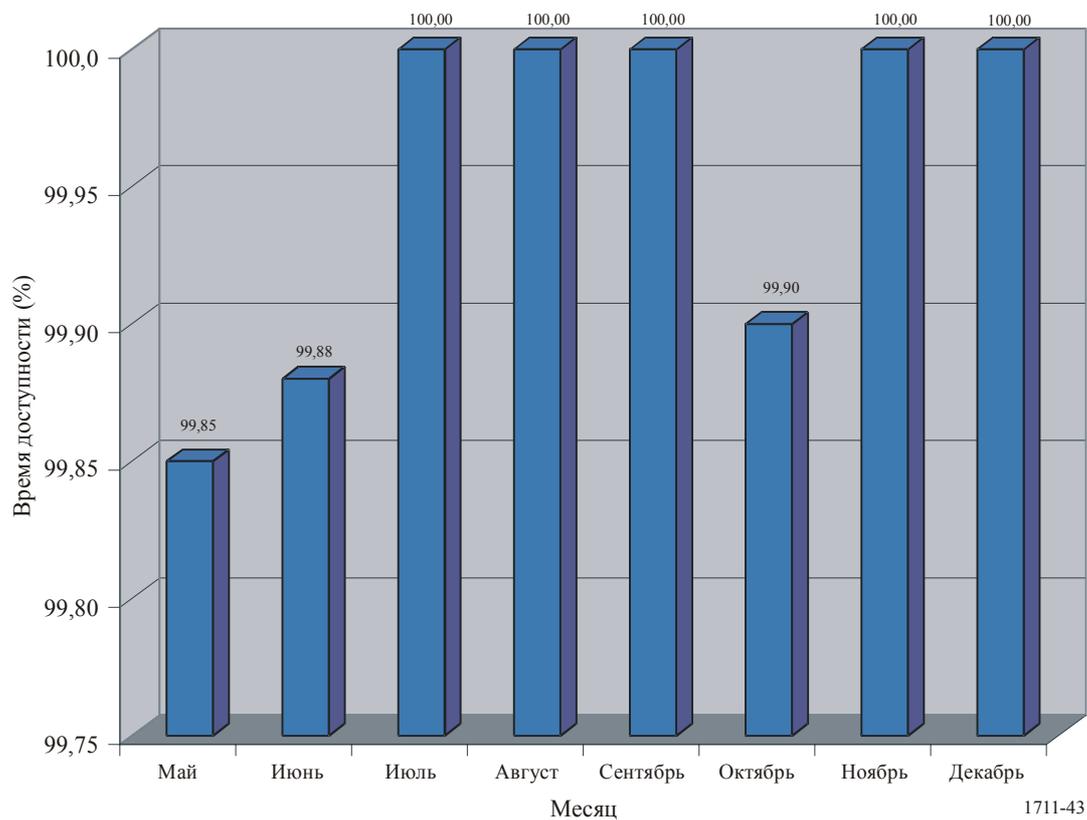
На рисунке 42 показана доступность кластера 2, в котором работает 3200 терминалов VSAT и спутник А, как следствие воздействия атмосферных явлений для каждого месяца 2003 года.



На рисунке 43 показана доступность кластера 3, в котором работает 3600 терминалов VSAT и спутник В, как следствие воздействия атмосферных явлений с мая по декабрь 2003 года.

РИСУНОК 43

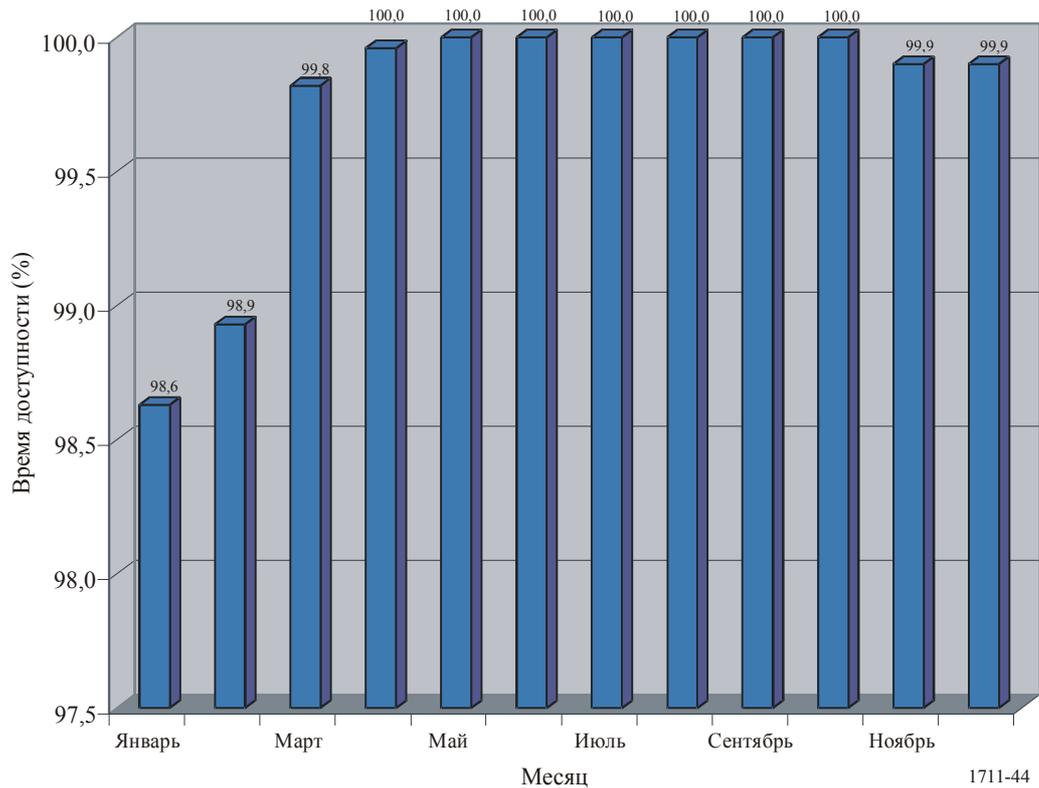
Доступность исходящего канала на линии Кластер 3 – Спутник В



На рисунке 44 показана доступность исходящего канала системы (8000 терминалов VSAT), которая использует спутники А и В, как следствие воздействия атмосферных явлений для каждого месяца 2003 года.

РИСУНОК 44

Доступность исходящего канала системы



1711-44

4.2.2 Пропускная способность

В таблице 17 показана пропускная способность кластера 2 и работающих с ним узловых спутниковых процессоров (HSP). Ежедневно в течение всего февраля 2004 года проводилось примерно по 200 измерений в день. Максимальная пропускная способность составила 319,11 кбит/с.

ТАБЛИЦА 17
Усредненная пропускная способность кластера 2

Дата	Среднее значение (кбит/с)			
	Кластер 2	HSP 1	HSP 2	HSP 3
02/01/04	314,14	314,96	313,13	314,32
02/02/04	307,66	314,31	303,18	305,49
02/03/04	306,35	312,83	303,72	302,51
02/04/04	306,85	313,92	303,61	303,02
02/05/04	304,75	308,57	303,19	302,48
02/06/04	303,58	306,76	305,28	298,70
02/07/04	310,87	311,00	309,50	312,10
02/08/04	314,78	316,82	311,92	315,60
02/09/04	303,58	305,23	304,28	301,23
02/10/04	302,13	304,34	301,11	300,93
02/11/04	302,33	304,77	299,06	303,16
02/12/04	313,03	312,16	316,88	310,04
02/13/04	306,89	304,71	312,99	302,97
02/14/04	311,65	311,76	316,49	306,69
02/15/04	319,11	317,44	321,36	318,52
02/16/04	305,80	307,72	309,28	300,40
02/17/04	313,06	313,62	316,66	308,90
02/18/04	306,48	305,78	310,73	302,93
02/19/04	312,25	304,46	308,19	324,09
02/20/04	303,92	304,96	305,54	301,26
02/21/04	311,64	313,07	311,59	310,25
02/22/04	314,45	316,07	312,51	314,77
02/23/04	311,23	312,86	310,76	310,08
02/24/04	312,89	313,44	313,04	312,19
02/25/04	306,45	307,98	304,75	306,63
02/26/04	303,26	304,03	301,08	304,68
02/27/04	304,36	306,54	304,20	302,35
02/28/04	312,95	314,71	313,99	310,15
02/29/04	313,78	314,66	313,43	313,26

В таблице 18 показана пропускная способность кластера 3 и работающих с ним узловых спутниковых процессоров (HSP). Ежедневно в течение всего февраля 2004 года проводилось примерно по 200 измерений в день. Максимальная пропускная способность составила 262,35 кбит/с.

ТАБЛИЦА 18

Усредненная пропускная способность кластера 3

Дата	Среднее значение (кбит/с)				
	Кластер 3	HSP 1	HSP 2	HSP 3	HSP 4
02/01/04	255,55	250,85	256,56	263,72	263,72
02/02/04	253,18	244,96	252,73	267,17	267,17
02/03/04	248,84	242,61	248,14	261,28	261,28
02/04/04	247,09	241,08	245,35	255,85	255,85
02/05/04	250,08	245,11	247,89	263,84	263,84
02/06/04	247,32	240,75	244,80	259,46	259,46
02/07/04	249,72	243,19	247,17	267,40	267,40
02/08/04	249,80	242,75	249,98	266,99	266,99
02/09/04	253,24	244,22	248,74	274,18	274,18
02/10/04	247,89	237,55	245,33	267,71	267,71
02/11/04	253,98	247,96	252,15	266,42	266,42
02/12/04	254,68	246,75	253,03	272,60	272,60
02/13/04	254,59	248,29	252,55	266,69	266,69
02/14/04	262,35	256,94	259,45	282,42	282,42
02/15/04	256,41	250,58	256,43	270,07	270,07
02/16/04	256,46	248,50	256,95	265,66	265,66
02/17/04	256,73	247,34	256,32	270,59	270,59
02/18/04	252,14	244,07	249,90	266,22	266,22
02/19/04	253,13	246,87	253,71	264,87	264,87
02/20/04	250,83	243,26	244,38	270,81	270,81
02/21/04	256,81	256,27	252,30	264,39	264,39
02/22/04	254,83	253,47	254,08	263,59	263,59
02/23/04	258,27	251,77	256,24	275,64	275,64
02/24/04	259,50	256,27	254,82	276,89	276,89
02/25/04	252,52	246,91	247,29	267,84	267,84
02/26/04	246,89	246,56	245,30	250,36	250,36
02/27/04	243,98	240,79	241,94	249,46	249,46
02/28/04	254,07	246,89	249,99	270,75	270,75
02/29/04	257,48	252,96	256,60	272,69	272,69

4.2.3 Трафик

В таблице 19 показан суммарный входящий трафик кластера 2, который измерялся ежедневно в течение всего февраля 2004 года.

ТАБЛИЦА 19
Трафик кластера 2

Дата	Суммарный трафик за день (Гбайт)			
	Кластер 2	HSP 1	HSP 2	HSP 3
02/01/04	4,158	3,787	4,198	4,488
02/02/04	7,566	7,052	8,095	7,552
02/03/04	7,346	7,568	7,059	7,412
02/04/04	7,241	7,302	6,575	7,844
02/05/04	7,160	6,925	7,050	7,505
02/06/04	7,483	7,031	7,978	7,440
02/07/04	4,582	4,001	4,269	5,476
02/08/04	3,648	3,303	3,801	3,840
02/09/04	7,243	7,187	7,635	6,906
02/10/04	7,418	6,823	7,754	7,676
02/11/04	6,979	7,322	6,619	6,996
02/12/04	7,650	7,267	7,972	7,712
02/13/04	7,050	6,759	6,995	7,396
02/14/04	4,660	4,348	4,131	5,500
02/15/04	3,729	3,339	3,849	3,998
02/16/04	7,438	6,639	7,681	7,993
02/17/04	7,295	6,600	7,337	7,947
02/18/04	6,911	6,977	6,817	6,939
02/19/04	7,137	6,618	7,192	7,600
02/20/04	7,158	6,240	7,570	7,666
02/21/04	4,698	4,521	5,250	4,324
02/22/04	3,558	3,146	3,899	3,629
02/23/04	4,873	4,442	5,420	4,758
02/24/04	4,212	3,920	4,059	4,658
02/25/04	6,351	5,895	7,072	6,086
02/26/04	7,020	6,205	7,200	7,654
02/27/04	7,452	7,069	7,971	7,317
02/28/04	4,309	3,999	4,045	4,882
02/29/04	3,961	3,638	4,733	3,513

В таблице 20 показан суммарный входящий трафик кластера 3, который измерялся ежедневно в течение всего февраля 2004 года.

ТАБЛИЦА 20
Трафик кластера 3

Дата	Суммарный трафик за день (Гбайт)				
	Кластер 3	HSP 1	HSP 2	HSP 3	HSP 4
02/01/04	3,106	3,822	2,920	3,677	2,004
02/02/04	6,159	7,339	5,982	7,229	4,084
02/03/04	5,411	6,684	4,441	7,009	3,510
02/04/04	6,334	7,370	6,105	7,530	4,330
02/05/04	5,926	7,060	6,002	6,903	3,739
02/06/04	3,738	3,769	4,280	4,239	2,663
02/07/04	2,642	3,374	2,677	2,633	1,885
02/08/04	4,649	5,895	4,378	5,769	2,555
02/09/04	6,317	7,440	5,840	7,537	4,452
02/10/04	5,403	6,229	5,175	6,431	3,777
02/11/04	6,042	6,971	5,171	7,459	4,566
02/12/04	5,797	6,449	5,532	6,927	4,279
02/13/04	3,757	3,637	4,035	4,730	2,624
02/14/04	3,052	2,790	2,984	4,229	2,208
02/15/04	5,865	6,723	5,203	7,058	4,477
02/16/04	5,052	6,445	3,839	5,812	4,113
02/17/04	5,983	6,939	5,309	7,486	4,199
02/18/04	5,730	6,297	4,864	7,332	4,428
02/19/04	5,996	7,087	5,427	7,231	4,238
02/20/04	3,948	3,699	3,919	4,534	3,640
02/21/04	2,792	3,269	2,391	2,935	2,574
02/22/04	4,155	4,041	4,269	4,330	3,978
02/23/04	3,146	3,163	3,172	3,530	2,721
02/24/04	5,264	5,228	5,360	6,264	4,204
02/25/04	6,081	6,896	5,658	6,630	5,142
02/26/04	6,202	6,964	6,342	7,218	4,282
02/27/04	3,707	3,528	4,133	4,308	2,860
02/28/04	3,167	3,193	2,918	3,857	2,702

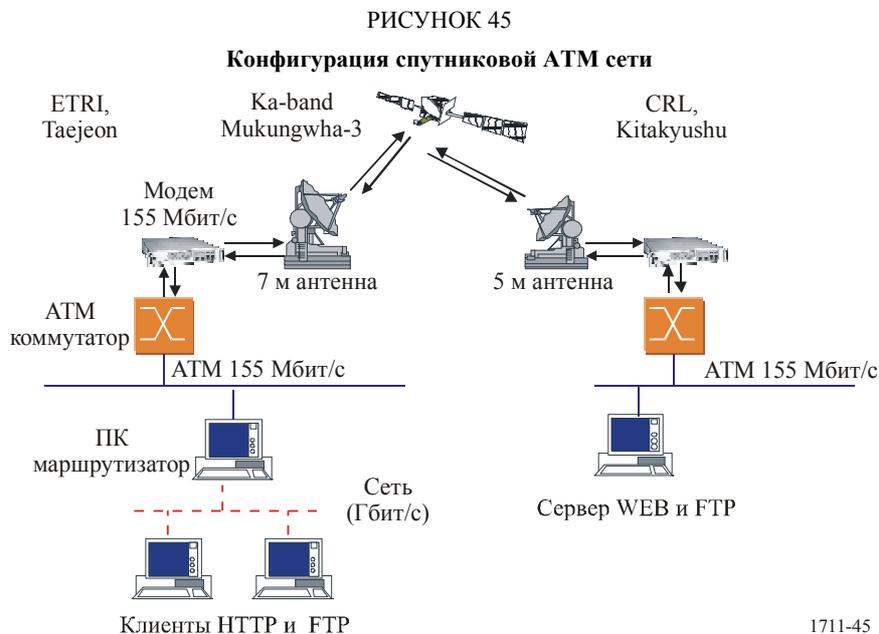
5 Измерения для прикладных протоколов (FTP и НТТР)

Институт ETRI в Корее и Лаборатория CRL в Японии начали совместный эксперимент по высокоскоростной спутниковой связи в 2000 году. На спутниковой ATM сети были проведены испытания двух типовых прикладных TCP протоколов – FTP и НТТР. Передачи по протоколам FTP и НТТР велись через спутник MUKUNGWHA-3 в Ka-диапазоне.

В параграфе 5.1 описана конфигурация сети, использованная в ходе эксперимента. В параграфе 5.2 представлены результаты измерений для протокола FTP. В параграфе 5.3 кратко описывается протокол НТТР и приведены результаты измерений для протокола НТТР. В параграфе 5.4 даны выводы.

5.1 Конфигурация спутниковой ATM сети

На рисунке 45 показана конфигурация корейско-японской высокоскоростной спутниковой ATM сети. В этом совместном эксперименте были установлены две земные станции с антеннами диаметром 7 м в НИИ электроники и телекоммуникаций (ETRI), Корея и диаметром 5 м в Лаборатории исследований в области связи (CRL), Япония. Основные параметры корейско-японской спутниковой ATM сети приведены в параграфе 3.2.



В CRL был размещен сервер FTP и НТТР, созданный на основе ПК с операционной системой Linux. Этот сервер был напрямую соединен с ATM сетью. В ETRI было размещено два пользовательских ПК, на которых были установлены операционные системы Windows 2000 и Linux соответственно. Они были соединены с маршрутизатором, который имел два сетевых интерфейса: с ATM и гигабитным Ethernet. Гигабитная субсеть и сервер были соединены друг с другом через ATM спутниковую сеть.

Для эксперимента с протоколом FTP в качестве FTP-клиента использовалась программа NCFTP 3.0, а в качестве FTP-сервера – WUFTPD 2.6.1. WUFTPD позволяет устанавливать максимальный размер окна TCP в значение, определяемое операционной системой. NCFTP реализует возможность масштабирования окна TCP.

Для эксперимента с протоколом НТТР в качестве веб-сервера работала программа Apache 1.3.12 в операционной среде Linux. Размер окна TCP был установлен равным 10 Мбайт. Для того чтобы контролировать внутреннюю работу и качественные показатели приложений НТТР 1.0 и НТТР 1.1,

использовались два веб-браузера: Netscape 4.77 – версия Linux для HTTP 1.0, и Webbot 5.2.8 – версия W3C для HTTP 1.1. Когда по запросу клиента отыскивались веб-страницы, на стороне клиента запоминались все передаваемые пакеты с применением HTTP модуля tcptrace. В эксперименте с протоколом HTTP было использовано пять типовых веб-страниц, которые описаны в таблице 21.

ТАБЛИЦА 21

Сведения о веб-страницах

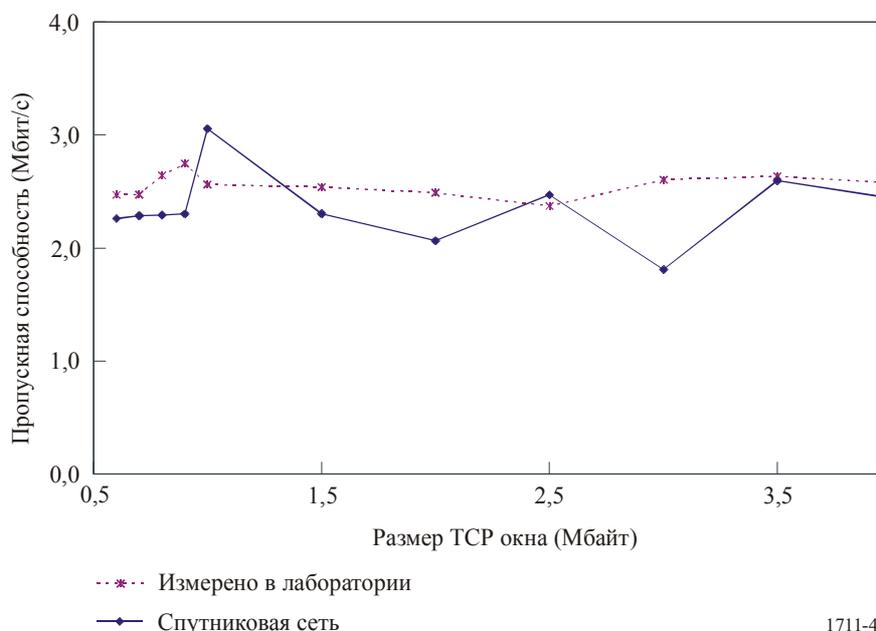
веб-страница	Количество элементов	Размер страницы (байтов)
China2008	30	212 207
CRL	21	80 333
FIFA	33	176 105
LionKing	16	393 672
RBLAB	8	72 103

5.2 Пропускная способность FTP на спутниковой линии ОС-3

Цель состояла в том, чтобы измерить пропускную способность FTP соединения на АТМ спутниковой линии. Для простоты сравнения также измерялась пропускная способность FTP на линии 155 Мбит/с без спутниковых задержек: была получена пропускная способность = 118,32 Мбит/с при ТСР окне размером 64 кбайт (т. е. 87,5% от теоретической пропускной способности). Было измерено изменение пропускной способности при изменении размера буфера окна ТСР в предположении, что размер файла составляет около 92,1 Мбайт. На рисунке 46 показана пропускная способность FTP как для реальной линии спутниковой связи, так и для ее модели.

РИСУНОК 46

Пропускная способность FTP на линии 155 Мбит/с спутниковой сети



1711-46

В случае протокола FTP на величину пропускной способности влияет множество факторов, например, степень использования CPU, дисковой памяти ввода/вывода и распределение внутренней

памяти между сетевыми драйверами и драйверами дисков. На рисунках 47 и 48 показаны графики временной последовательности ТСП и окна перегрузки ТСП, соответственно, для буфера ТСП окна размером 1 Мбайт. В течение первых 38 секунд передача файла протекает нормально, затем наблюдалась утеря некоторых данных, что потребовало повторной передачи (поскольку ТСП считает причиной утери данных перегрузку сети). На рисунке 48 механизм перегрузки ТСП уменьшает размер окна наполовину. На рисунке 47 показан новый затяжной пуск после 38 секунд. В результате суммарная пропускная способность существенно уменьшилась. Следовательно, для нормальной работы FTP с большим буфером ТСП следует специально сконфигурировать другие параметры и ресурсы системы, такие как распределение памяти для дискового ввода/вывода и прерывание сетевого драйвера.

РИСУНОК 47

График временной последовательности ТСП
(Размер буфера ТСП = 1 Мбайт)

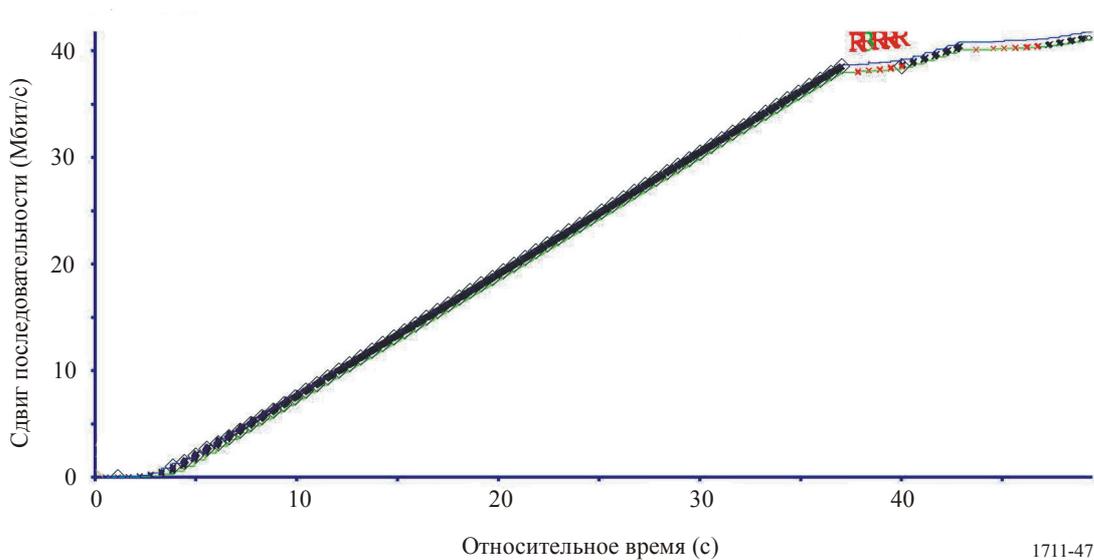
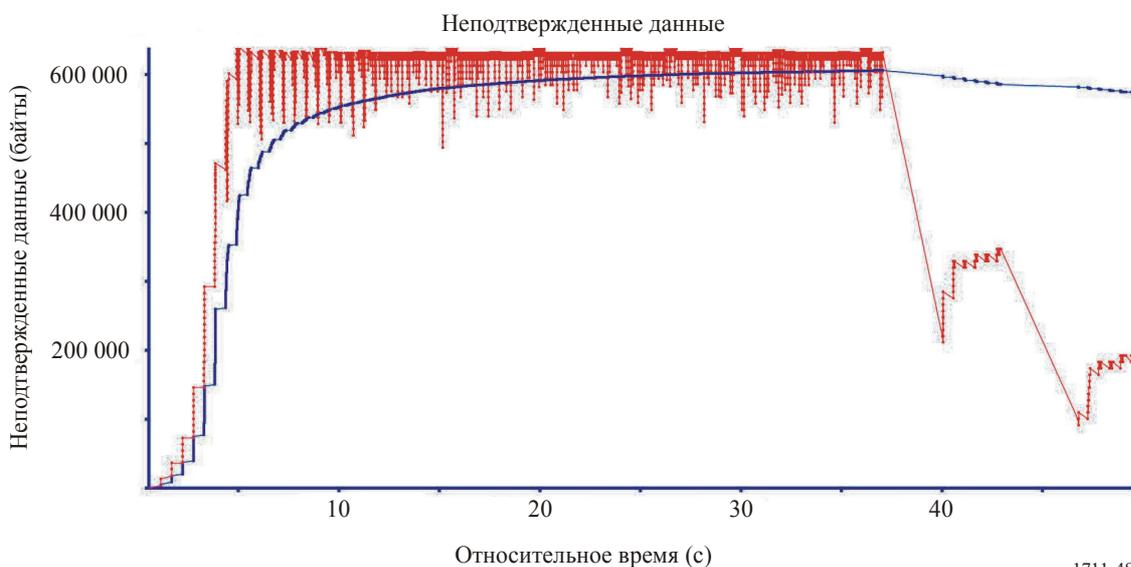


РИСУНОК 48

График окна перегрузки ТСП
(Размер буфера ТСП = 1 Мбайт)



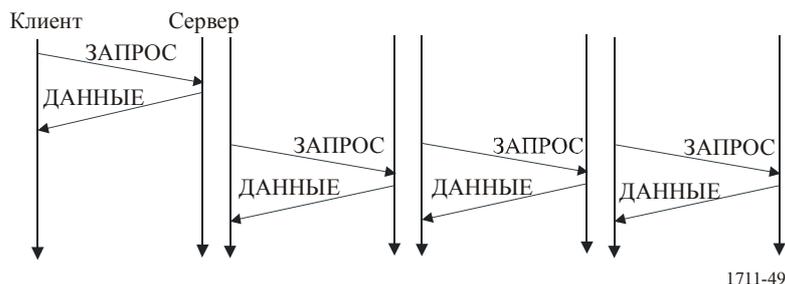
5.3 Пропускная способность HTTP на спутниковой линии ОС-3

5.3.1 HTTP 1.0 с неустойчивыми соединениями

При использовании протокола HTTP 1.0 для загрузки полной веб-страницы требуется отдельное TCP соединение для загрузки каждого из HTTP объектов, связанных с этой веб-страницей. На рисунке 49 показано взаимодействие HTTP 1.0 клиента и сервера для случая, когда веб-страница содержит три объекта. Сначала по TCP соединению передается базовая HTML страница. Затем TCP соединение закрывается и одновременно создается три новых TCP соединения для параллельной загрузки трех связанных объектов. Такой режим может быть неэффективным, так как множество одновременных TCP соединений перегружают сеть.

РИСУНОК 49

HTTP 1.0 – Временные соединения



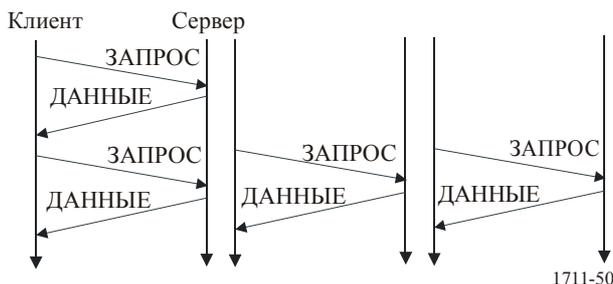
1711-49

5.3.2 HTTP 1.0 с возможностью работы в "дежурном" режиме

Некоторые браузеры и серверы, использующие HTTP 1.0, для преодоления вышеописанной неэффективности поддерживают опцию "дежурное соединение". В этом методе для передачи нескольких запросов HTTP используется только одно TCP соединение. Однако браузеры, реализующие эту возможность, также способны устанавливать множество TCP соединений. На рисунке 50 показана работа HTTP с опцией "дежурное соединение". Базовый документ и один из трех объектов передаются по первому TCP соединению. Два остальных объекта затем передаются по двум новым TCP соединениям.

РИСУНОК 50

HTTP 1.0 – опция "дежурное соединение"



1711-50

5.3.3 HTTP 1.1 без конвейерной работы

Дополнительная опция "дежурное соединение" – форма устойчивого соединения, была формально определена в версии HTTP 1.1. Устойчивые соединения допускают выполнение нескольких запросов. Ответы на запросы могут содержаться в одном TCP соединении и не требуют наличия множества TCP соединений. Качественные показатели протокола HTTP с устойчивыми соединениями существенно лучше, поскольку при этом нет необходимости многократно повторять режим фаз затяжного пуска, который неизбежен в противном случае. На рисунке 51 показан механизм HTTP 1.1 с устойчивым соединением. Различные объекты передаются последовательно. Для случая одного базового HTML документа и трех объектов потребуется только четыре периода RTT без конвейерной работы.

РИСУНОК 51
НТТР 1.1 без конвейерной работы

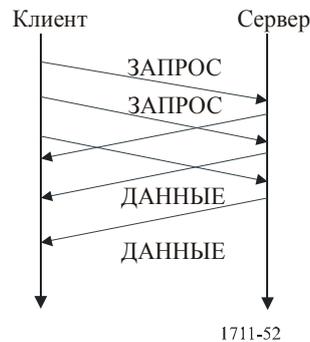


5.3.4 НТТР 1.1 с конвейерной работой

НТТР 1.1 с конвейерной работой позволяет передавать множество запросов, не дожидаясь ответа. Конвейерный режим может использоваться, для того чтобы избежать появления множества задержек на передачу сигнала в обоих направлениях, и для того чтобы улучшить качественные показатели, поскольку его применение устраняет время "простоя" между последовательной загрузкой объектов.

На рисунке 52 показано взаимодействие между клиентом и сервером, использующими НТТР 1.1 с конвейерной работой. По одному-единственному ТСП соединению передаются и базовый документ, и три объекта.

РИСУНОК 52
НТТР 1.1 с конвейерной работой



5.3.5 Результаты испытаний

Основная цель состояла в том, чтобы измерить качественные показатели передачи веб-страницы по спутниковой сети с применением различных версий НТТР. В таблице 22 приведены результаты измерений работы НТТР в спутниковой сети для пяти веб-страниц. Когда использовался браузер Webbot, устанавливалось только одно ТСП соединение (для НТТР 1.1 требуется только одно ТСП соединение). Когда использовался браузер Netscape, число устанавливаемых ТСП соединений соответствовало числу элементов, соединенных с веб-страницей. Когда использовалась версия НТТР 1.0, каждое ТСП соединение было независимым от всех остальных. То есть, каждое ТСП соединение реализовывало свои механизмы затяжного пуска и предотвращения перегрузки. Когда использовалась версия НТТР 1.0, для передачи веб-страницы и связанных с ней объектов создавалось

большее число пакетов. Суммарное время отклика было меньше, чем для случая HTTP 1.1 без конвейерной работы. Это означает, что в сетях с большими задержками, в отсутствие перегрузки в сети, множество одновременных TCP соединений могут работать более эффективно, чем единственное (особенно, когда размер элементов невелик). Однако существует и множество негативных аспектов (например, большая нагрузка на сервер, перегрузка сети из-за передачи большого числа пакетов) использования множества одновременно действующих соединений.

ТАБЛИЦА 22

Качественные показатели для HTTP передачи

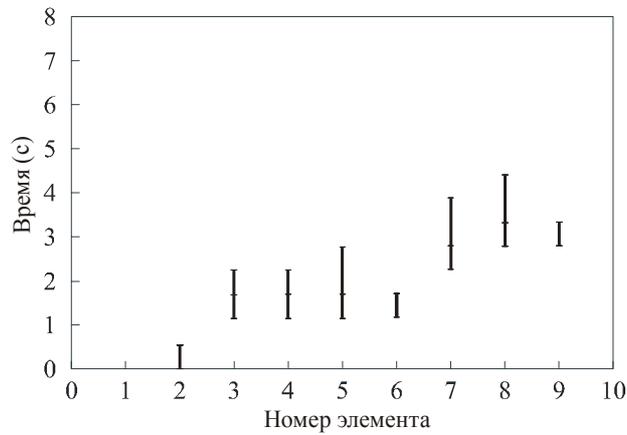
веб-страница	веб-браузер	Число TCP соединений	Число пакетов	Общее время отклика (с)	Средняя пропускная способность (бит/с)
China2008 (30 объектов, 212 207 байтов)	Netscape 4.77	41	655	14,764	14 373
	Webbot без конвейерной работы	1	306	21,158	10 030
	Webbot с конвейерной работой	1	318	4,363	48 638
CRL (21 объект, 80 333 байта)	Netscape 4.77	22	307	8,642	9 296
	Webbot без конвейерной работы	1	133	13,547	5 930
	Webbot с конвейерной работой	1	137	3,247	24 741
FIFA (33 объекта, 176 105 байтов)	Netscape 4.77	34	551	13,054	13 491
	Webbot без конвейерной работы	1	282	21,682	8 122
	Webbot с конвейерной работой	1	285	4,328	40 690
LionKing (16 объектов, 393 672 байта)	Netscape 4.77	14	660	8,277	47 562
	Webbot без конвейерной работы	1	514	12,529	31 421
	Webbot с конвейерной работой	1	564	4,882	80 637
RBLAB (8 объектов, 72 103 байта)	Netscape 4.77	8	166	4,365	16 518
	Webbot без конвейерной работы	1	104	6,540	11 025
	Webbot с конвейерной работой	1	119	3,822	18 865

Когда выполняется запрос веб-страницы, браузер создает команду запроса GET на базовый документ HTML. Через один RTT период базовый документ будет принят. Затем браузер создает команду запроса каждого элемента, связанного с базовым документом. Для HTTP 1.1 с конвейерной работой команды GET могут создаваться, как только запрос достиг браузера, не дожидаясь завершения текущей передачи данных от сервера. В случае использования HTTP 1.0 для передачи каждого элемента устанавливаются отдельные TCP соединения.

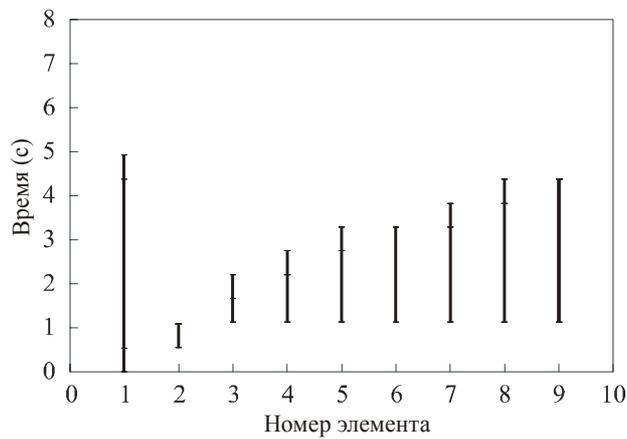
На рисунке 53 показана последовательность запросов на поиск и передачу страницы RBLAB (семь элементов). Элемент 1 на рисунках 53 b) и 53 c) представляет собой время полной передачи базовой страницы и связанных с ней объектов. Другие элементы отображают время передачи каждого объекта. Элемент 2 – первый документ с веб-сервера по запросу браузера. Продолжительность его передачи не зависит от версии HTTP или используемых опций. Однако для последующих элементов время начала передачи и продолжительность передачи различна и зависит от версии HTTP и используемых опций. При использовании HTTP 1.0 (см. рисунок 53 a)), когда базовые документы получены, браузер создает множество команд GET, запрашивая объекты, связанные с базовой страницей. Следовательно, устанавливается несколько TCP соединений в ходе трехсторонних переговоров с различными запросами на соединение для каждого объекта. Когда страница RBLAB загружается при помощи HTTP 1.1 с конвейерной работой, передача объектов начинается, как только принят базовый документ. Без использования конвейерной работы передача объектов не может начаться до тех пор, пока не завершена передача предыдущих объектов. HTTP 1.1 устанавливает только одно TCP соединение и, следовательно, реализует только одну процедуру затяжного пуска.

РИСУНОК 53

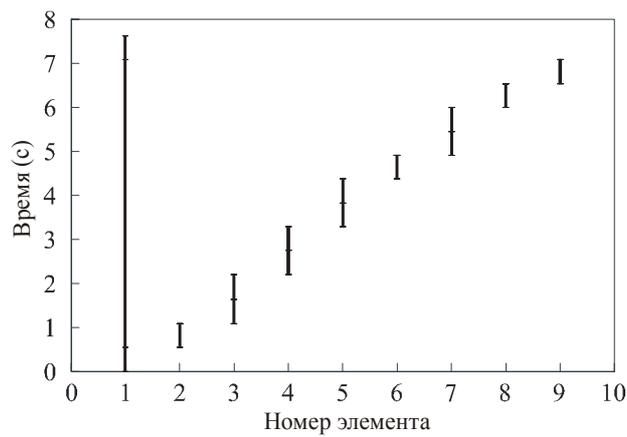
График передачи веб-страницы RBLAB и ее элементов



а) HTTP 1.0 без "дежурного соединения" (Netscape)



б) HTTP 1.1 с конвейерной работой (Webbot)



в) HTTP 1.1 без конвейерной работы (Webbot)

Когда опция конвейерной работы включена, по одному и тому же соединению передаются несколько объектов, представляясь единым объемом передаваемых данных. Многие эксперименты показывают, что в протяженных сетях LFN, каковыми являются геостационарные спутниковые сети, такие передачи больших объемов данных имеют хорошее качество. Следовательно, кажется, что наилучшим качеством обладает версия НТТР 1.1 с опцией конвейерной работы.

5.4 Выводы

Максимальная пропускная способность для FTP была получена равной примерно 3 Мбит/с при размере TCP окна 1 Мбайт. Когда размер TCP окна превышал 1 Мбайт, пропускная способность ухудшалась. В случае передачи типа "память-память" по спутниковому каналу, пропускная способность зависит, главным образом, от размера TCP окна. Увеличение размера буфера TCP для повышения пропускной способности TCP может ухудшить качество работы FTP за счет негативного влияния на распределение памяти между дисками ввода/вывода и системой.

В результате нескольких измерений пропускной способности НТТР было найдено, что наилучшим качеством обладает версия НТТР 1.1 с опцией конвейерной работы.
