

Международный союз электросвязи

**МСЭ-R**

Сектор радиосвязи МСЭ

**Рекомендация МСЭ-R S.1711-1**  
(01/2010)

**Улучшение качественных показателей  
протокола управления передачей  
по спутниковым сетям**

**Серия S**  
**Фиксированная спутниковая служба**



Международный  
союз  
электросвязи

## Предисловие

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

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

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

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

### Серии Рекомендаций МСЭ-R

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

Серия	Название
BO	Спутниковое радиовещание
BR	Запись для производства, архивирования и воспроизведения; пленки для телевидения
BS	Радиовещательная служба (звуковая)
BT	Радиовещательная служба (телевизионная)
F	Фиксированная служба
M	Подвижная спутниковая служба, спутниковая служба радиоопределения, любительская спутниковая служба и относящиеся к ним спутниковые службы
P	Распространение радиоволн
RA	Радиоастрономия
RS	Системы дистанционного зондирования
<b>S</b>	<b>Фиксированная спутниковая служба</b>
SA	Космические применения и метеорология
SF	Совместное использование частот и координация между системами фиксированной спутниковой службы и фиксированной службы
SM	Управление использованием спектра
SNG	Спутниковый сбор новостей
TF	Передача сигналов времени и эталонных частот
V	Словарь и связанные с ним вопросы

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

Электронная публикация  
Женева, 2010 г.

© ITU 2010

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

## РЕКОМЕНДАЦИЯ МСЭ-R S.1711-1

**Улучшение качественных показателей протокола управления передачей по спутниковым сетям**

(Вопрос МСЭ-R 263-1/4)

(2005-2010)

**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 приводятся результаты испытаний и измерений некоторых таких методов, для того чтобы получить более точное представление об их эффективности и точности в зависимости от типа спутниковой сети.

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

*учитывая,*

- а) 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;
- б) 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;
- с) что качество протокола ТСР может ухудшаться из-за длительных задержек на линиях спутниковой связи, что влияет на качество обслуживания конечного пользователя;
- д) что, следовательно, при проектировании спутниковых линий для пакетной IP передачи чрезвычайно важно улучшить качественные показатели ТСР;
- е) что радиочастотный ресурс используется неэффективно, если в некоторых сетях не применять возможности улучшения качественных показателей ТСР для спутниковых линий,

*отмечая,*

- а) что для линий с небольшой нагрузкой улучшения качественных показателей ТСР может не потребоваться (см. п. 3.1 Отчета МСЭ-R S.2148),

*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, проектировщикам систем следует оценить точность определенного метода улучшения качественных показателей ТСР для их системы на основе результатов моделирования и измерений, которые приведены в Приложении 2;



**3** для того чтобы не повлиять на пропускную способность ТСП, линии спутниковой связи, предназначенные для передач на основе ТСП, должны разрабатываться таким образом, чтобы гарантировать в течение доступного времени коэффициент ошибок по битам (КОБ) лучше, чем  $10^{-7}$  (см. п. 2 из Приложения 2);

**4** для того чтобы улучшить пропускную способность передач на основе ТСП в сетях, включающих спутниковые линии:

**4.1** когда этого позволяет топология сети, должны быть реализованы методы деления (или связанные, или без кэширования) (см. п. 2, 3 и 5 Приложения 2);

**4.2** для установки окна перегрузки ТСП должна использоваться опция масштабирования окна, для того чтобы достичь максимально выгодного значения (см. Примечание 1 и п. 4 Приложения 2);

**5** что ниже следующее Примечание 1 должно рассматриваться как часть данной Рекомендации.

**ПРИМЕЧАНИЕ 1.** – Большие окна ТСП создают импульсный трафик, который в результате может привести к потерям пакетов на промежуточных маршрутизаторах из-за насыщения буфера. Насыщение буфера может быть уменьшено путем реализации больших буферов в промежуточных маршрутизаторах или управления трафиком в источнике ТСП (см. п. 4 Приложения 2). В тех случаях, где такая реализация практически не выполнима, максимальное значение окна перегрузки ТСП должно устанавливаться, принимая во внимание потенциальное насыщение буфера на промежуточных маршрутизаторах.

**ПРИМЕЧАНИЕ 2.** – В Отчете МСЭ-R S.2148 представлен основной справочный материал по некоторым недостаткам ТСП, используемого в сетях спутниковой связи, а также краткий обзор улучшения качественных показателей ТСП, где они кратко описываются и указываются области, где улучшаются качественные показатели ТСП в сетях спутниковой связи.

**ПРИМЕЧАНИЕ 3.** – В Разделе 6 Приложения 2 содержатся результаты измерений, выполненных для того, чтобы оценить эффективность улучшений двух типовых приложений на основе ТСП (протокол передачи файлов (FTP) и протокол передачи гипертекста (HTTP)).

## СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

Приложение 1 – Эталонные модели спутниковой системы .....	7
1 Сфера применения .....	7
2 Эталонные модели .....	7
2.1 Линии связи "пункт с пунктом" .....	7
2.2 Сети VSAT.....	7
2.2.1 Топология "звезда" .....	7
2.2.2 Топология "Mesh".....	8
2.3 Широкополосный доступ.....	8
Приложение 2 – Испытания и измеренные качественные показатели ТСП с улучшениями .....	9
1 Сфера применения .....	9
2 Качественные показатели ТСП с сегментированием.....	9
2.1 Качественные показатели ТСП, измеренные без каких-либо улучшений.....	9
2.1.1 Измерение качественных показателей ТСП соединения .....	9
2.1.2 ТСП без улучшений качественных показателей.....	9
2.1.3 Качественные показатели ТСП соединения без улучшений .....	9
2.2 Деление на два сегмента .....	10
2.2.1 Конфигурация спутниковых сетей .....	10
2.2.2 Результаты испытаний.....	12
2.2.3 Выводы.....	18
2.3 Деление на три сегмента .....	18
2.3.1 Конфигурация спутниковых сетей .....	18
2.3.2 Процедуры испытаний.....	19
2.3.3 Результаты испытаний.....	19
2.3.4 Выводы.....	24
3 Эксперименты и измерения ТСП для передач по спутниковым сетям с использованием кэширования и спуфинга .....	24
3.1 Введение .....	24
3.2 Эксперименты и измерения .....	25

	3.2.1	Параметры оборудования.....	25
	3.2.2	Конфигурации сети для экспериментов и измерений.....	26
	3.2.3	Результаты испытаний и измерений.....	27
	3.3	Выводы .....	29
4		Качественные показатели ТСП на спутниковых сетях АТМ.....	29
	4.1	Конфигурация сети.....	29
	4.2	Качественные показатели ТСП на спутниковых сетях АТМ (без наземных сегментов) .....	31
	4.3	Поведение ТСП в разнородных сетях, включающих спутниковые линии.....	32
	4.3.1	Моделирование размера буфера .....	33
	4.3.2	Качественные показатели ТСП при регулировании трафика на передатчике.....	35
	4.4	Выводы .....	37
5		Качественные показатели ТСП в спутниковых сетях доступа.....	37
	5.1	Архитектура и конфигурация сети .....	37
	5.1.1	Архитектура сети .....	37
	5.1.2	Конфигурация.....	38
	5.2	Результаты измерения качественных показателей.....	40
	5.2.1	Доступность .....	40
	5.2.2	Пропускная способность .....	40
	5.2.3	Трафик.....	42
	5.3	Выводы .....	42
6		Измерения для прикладных протоколов (FTP и НТТР).....	42
	6.1	Конфигурация спутниковой сети АТМ.....	43
	6.2	Пропускная способность FTP на спутниковой линии ОС-3.....	44
	6.3	Пропускная способность НТТР на спутниковой линии ОС-3.....	46
	6.3.1	НТТР 1.0 с неустойчивыми соединениями.....	46
	6.3.2	НТТР 1.0 с возможностью работы в "дежурном" режиме.....	46
	6.3.3	НТТР 1.1 без конвейерной работы .....	46
	6.3.4	НТТР 1.1 с конвейерной работой.....	47
	6.3.5	Результаты испытаний.....	47
	6.4	Выводы .....	50
7		Заключение .....	50

**Список сокращений**

AAL	ATM adaptation layer		Уровень адаптации ATM
ACK	Acknowledgement		Подтверждение приема
ATM	Asynchronous transfer mode		Режим асинхронной передачи
BDP	Bandwidth delay product		Данные, задержанные в полосе пропускания
BER	Bit-error ratio	КОБ	Коэффициент ошибок по битам
BW	Bandwidth		Полоса пропускания
CE	Congestion experience bit		Бит показателя перегрузки
CPU	Central processing unit		Центральный процессор
cwnd	Congestion window (variable in TCP)		Окно перегрузки (в TCP – переменная)
DA	Dedicated access		Доступ по выделенным каналам
DACK	Delayed acknowledgement		Задержанное подтверждение приема
DAMA	Demand assignment multiple access		Многостанционный доступ с предоставлением канала по требованию
DVB-S	Digital video broadcast via satellite		Спутниковое цифровое ТВ вещание
ECN	Explicit congestion notification		Явное сообщение о перегрузке
e.i.r.p.	Equivalent isotropically radiated power	э.и.и.м.	Эквивалентная изотропная излучаемая мощность
FEC	Forward error correction		Упреждающая коррекция ошибок
FIN	Final segment (in a TCP connection)		Финальный сегмент (в TCP соединении)
FTP	File transfer protocol		Протокол передачи файлов
<i>G/T</i>	Gain to equivalent system temperature ratio		Отношение коэффициента усиления к эквивалентной температуре системы
GSO	Geostationary satellite orbit	ГСО	Геостационарная спутниковая орбита
GW	Gateway		Станция сопряжения (шлюз)
HPA	Hub page accelerator		Узловой ускоритель загрузки веб-страниц
HSP	Hub satellite processor		Узловой спутниковый процессор
HTML	Hypertext markup language		Язык разметки гипертекста
HTTP	Hypertext transfer protocol		Протокол передачи гипертекста
ICMP	Internet control message protocol		Протокол управления сообщениями в сети интернета
IETF	Internet engineering task force		Целевая группа инженерной поддержки интернета
I/O	Input/output		Вход/выход
IP	Internet protocol		Протокол Интернет
IPSEC	IP security protocol		Протокол системы безопасности IP
ISP	Internet service provider		Поставщик услуг интернета
LAN	Local area network		Локальная сеть
LFN	Long fat network		Протяженная сеть с высокой пропускной способностью
MF-TDMA	Multifrequency time division multiple access		Многостанционный доступ с частотным и временным разделением каналов
MPEG	Moving picture experts group		Группа экспертов по вопросам кинотехники
MPLS	Multiprotocol label switching		Многопротокольная маркерная коммутация
MSS	Maximum segment size		Максимальный размер сегмента
MTU	Maximum transmission unit		Максимальный размер пакета
NNTP	Network news transport protocol		Протокол передачи новостей по сети

NTP	Network time protocol	Сетевой протокол службы времени
OS	Operating system	Операционная система
PAD	Padding bytes	Заполняющие байты
PAWS	Protect against wrapped sequence(s)	Защита от свертки последовательностей
PC	Personal computer(s)	Персональный компьютер (ПК)
PDU	Protocol data unit	Протокольный блок данных
PEP	Performance enhancing proxy	Посредник улучшения качества
RA	Random access	Случайный доступ
RAM	Random access memory	Память со случайным доступом
RBP	Rate-based pacing	Регулирование по скорости передачи
rcvwnd	Receive window (variable in TCP)	Окно приема (в TCP – переменная)
RFC	Request for comments (issued by the IETF)	Запрос комментариев (от IETF)
RPA	Remote page accelerator	Дистанционный ускоритель загрузки веб-страниц
RS	Reed-Solomon	Код Рида-Соломона
RTT	Round trip time	Время прохождения сигнала в обоих направлениях
RTTM	RTT measurement	Измерение RTT
Rx	Receiver	Приемник
SACK	Selective acknowledgment	Избирательное подтверждение приема
SCPC	Single channel per carrier	Один канал на несущую (ОКН)
SSPA	Solid state power amplifier	Полупроводниковый усилитель мощности
sssthres	Slow start threshold (variable in TCP)	Порог затяжного пуска (в TCP – переменная)
SYN	Synchronous start segment (used to establish a TCP connection)	Сегмент синхронного пуска (используется для установления TCP соединения)
T/TCP	TCP for transactions	TCP для транзакций
TBF	Token buffer filter	Фильтр буфера маркеров
TC	Trellis coded	Решетчатое кодирование
TCP	Transmission control protocol	Протокол управления передачей
TDMA	Time division multiple access	Многостанционный доступ с временным разделением каналов
TWTA	Travelling wave tube amplifier	Усилитель на лампе бегущей волны (ЛБВ)
Tx	Transmitter	Передатчик
UDP	User datagram protocol	Протокол датаграмм пользователя
URL	Uniform/universal resource locator	Унифицированный/универсальный указатель ресурсов
VSAT	Very small aperture terminal	Земная станция с малой апертурой антенны
WAN	Wide area network	Территориально распределенная сеть



## Приложение 1

### Эталонные модели спутниковой системы

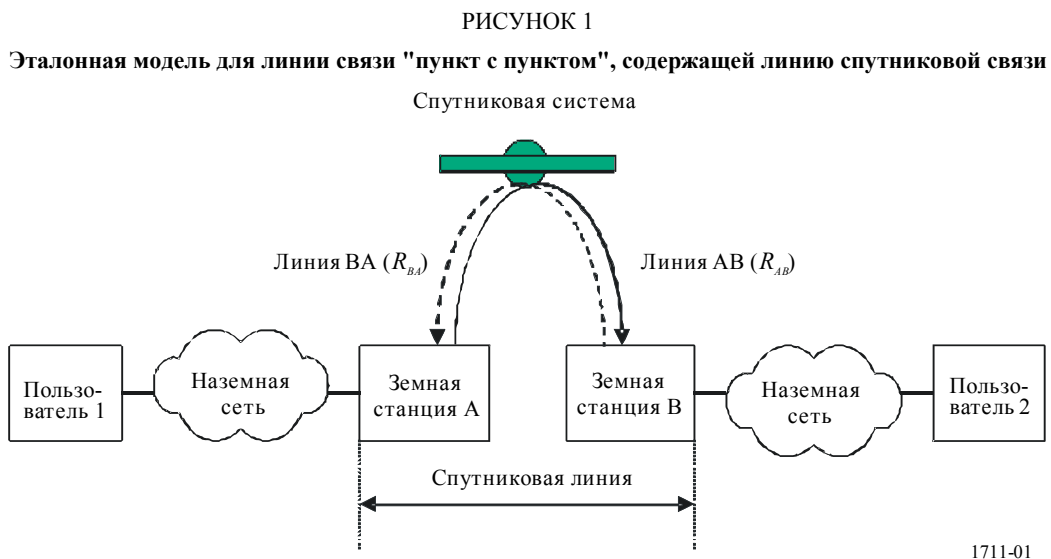
#### 1 Сфера применения

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

##### 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 соответствующих наземных сетей между двумя конечными 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).



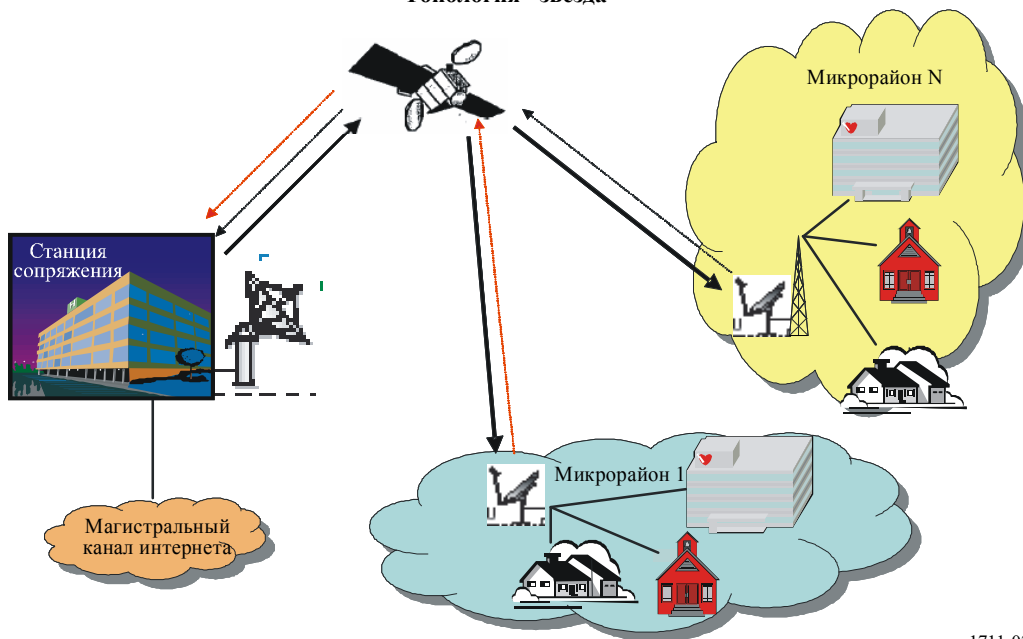
ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Вышеприведенная эталонная модель учитывает только один спутниковый пролет. В рамках настоящей Рекомендации методы, которые сегментируют TCP соединение для улучшения качественных показателей TCP на линиях спутниковой связи, описываются для одного спутникового пролета. Однако реальные соединения 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 земную станцию сопряжения, которая в свою очередь соединена с наземной сетью.

РИСУНОК 2  
Топология "звезда"

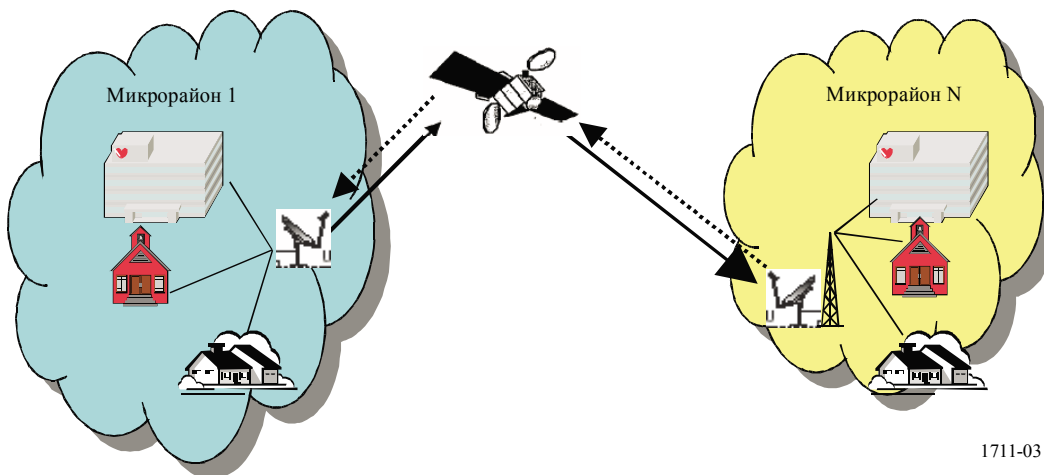


1711-02

### 2.2.2 Топология "Mesh" (Сетчатая топология)

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

РИСУНОК 3  
Топология "Mesh" (Сетчатая топология)



1711-03

## 2.3 Широкополосный доступ

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

## Приложение 2

### Испытания и измеренные качественные показатели ТСП с улучшениями

#### 1 Сфера применения

В Приложении 2 представлены результаты независимых экспериментов и измерений, выполненных для проверки работы некоторых методов улучшения качественных показателей ТСП и ценные сведения для проектировщиков спутниковых систем. Для получения дополнительных деталей относительно различных методов улучшения качественных показателей ТСП см. Отчет МСЭ-R S.2148.

#### 2 Улучшение качественных показателей ТСП сегментированием

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

В разделе 2.1 приведены результаты измерения качественных показателей для одного ТСП соединения без станций сопряжения. Раздел 2.2 содержит результаты испытаний при делении на два сегмента. Раздел 2.3 – результаты испытаний при делении на три сегмента.

##### 2.1 Качественные показатели для одного соединения ТСП без каких-либо улучшений

###### 2.1.1 Испытание качественных показателей, прошедших испытания для одного соединения ТСП

В первом цикле испытаний изучалась пропускная способность для одного ТСП 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 ТСП без улучшений качественных показателей

Первый цикл испытаний был проведен для одного ТСП соединения без улучшения 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.

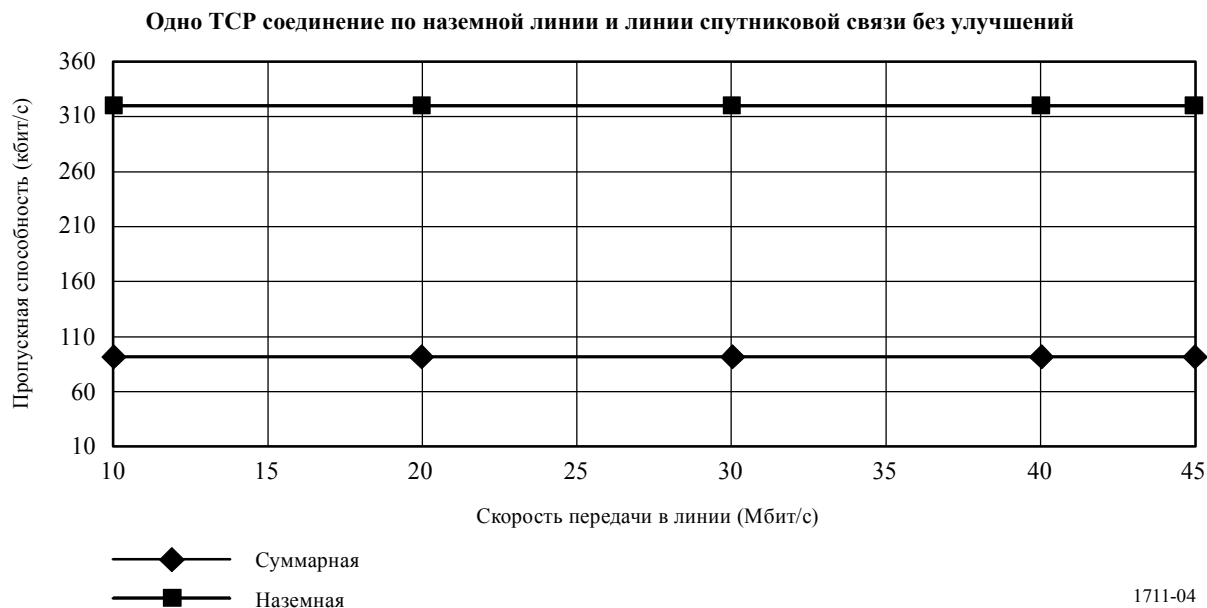
###### 2.1.3 Качественные показатели для одного ТСП соединения без улучшений

Максимальная пропускная способность без улучшений составила 320 кбит/с для наземных соединений и 91 кбит/с для линии спутниковой связи (см. рисунок 4). Эти результаты показывают, что без всяких улучшений максимальная пропускная способность ТСП линии с одним соединением ТСП 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 4



## 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 испытания:

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

TEST-B: Измерение с эмулятором линии спутниковой связи.

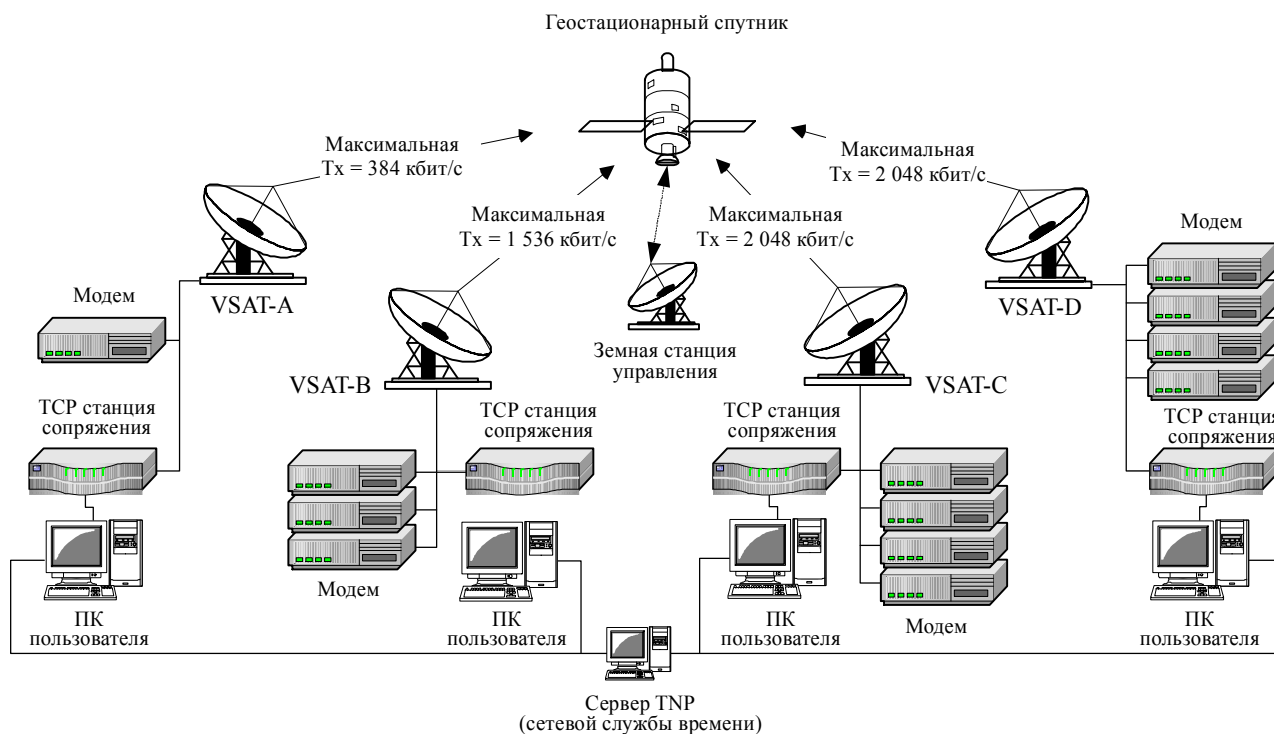
#### 2.2.1.1 TEST-A: Натурные измерения линии спутниковой связи на реальной системе VSAT

Во время испытания TEST-A были выполнены измерения на спутниковой IP сети стандарта DAMA сетчатой топологии, 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 проводилось испытание TEST-A, показана на рисунке 5. Спутниковая сеть DAMA состоит из земной станции управления каналами 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 1. 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 5

## Конфигурация сети для эксперимента TEST-A



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

1711-05

ТАБЛИЦА 1

## Спецификации земных станций VSAT

Земная станция	Размер антенны (м)	Выходной сигнал усилителя мощности (Вт)	Максимальная скорость передачи (кбит/с)	Поставщик TCP станции сопряжения
Земная 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 Iperf<sup>1</sup>, которое генерирует IP-пакеты и измеряет пропускную способность.

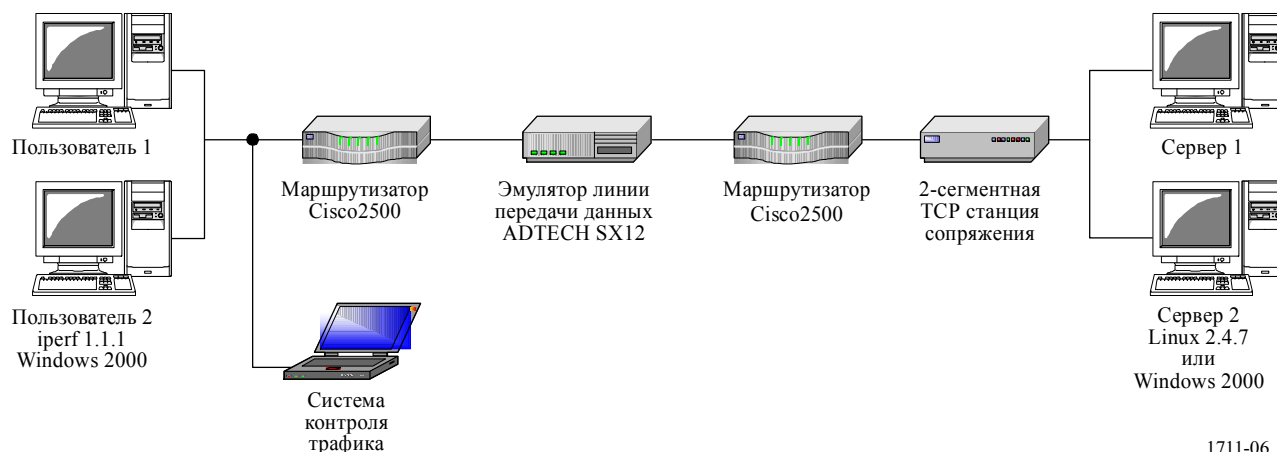
### 2.2.1.2 TEST-B: измерение с эмулятором линии спутниковой связи

Во время испытания TEST-B: проведены измерения на сети "из пункта в 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 разных условий 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 6. Сеть содержит эмулятор линии передачи данных, который моделирует условия работы линии спутниковой связи в сетях "из пункта в 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.

РИСУНОК 6

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

<sup>1</sup> 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>.



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 2

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	345	345		365
	VSAT-D	346	365	345	

ТАБЛИЦА 3

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 4

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 5

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 5 содержит средние значения для четырех измерений.

ТАБЛИЦА 6

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 6 содержит средние значения для четырех измерений.

ТАБЛИЦА 7

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 8

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 9

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
	Всего			1 918	1 902

#### 2.2.2.1.4 Результаты для комбинации сеансов связи UDP и TCP

ТАБЛИЦА 10

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	1 102
				687	841

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

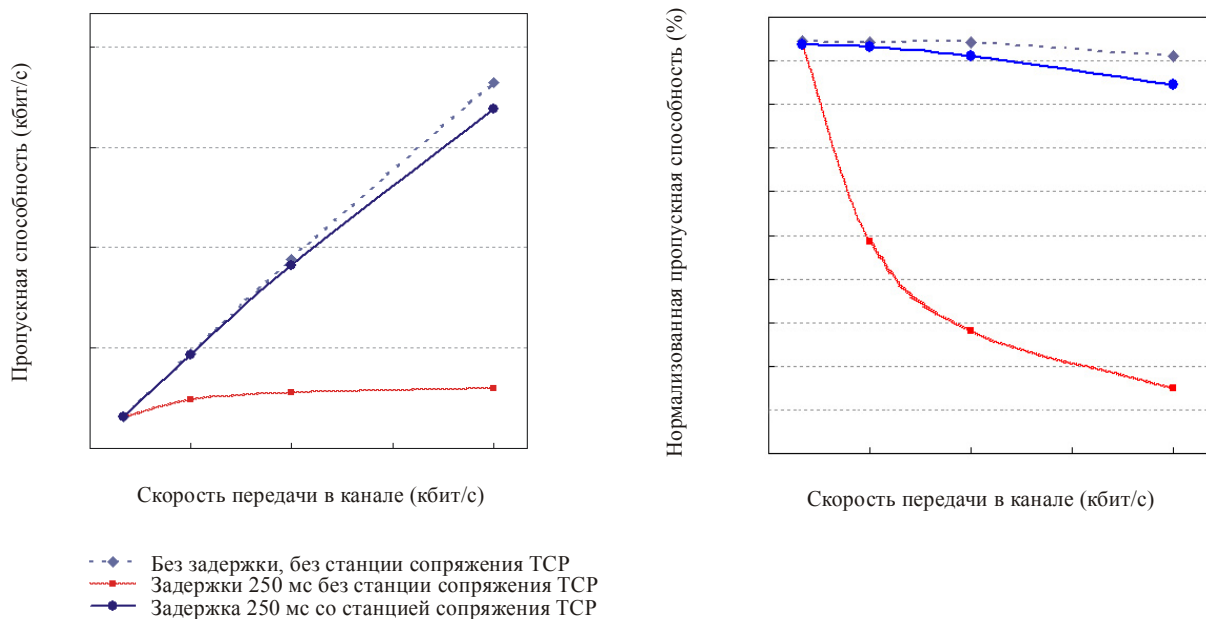
#### 2.2.2.2 TEST-B

Результаты испытаний TEST-B показаны на рисунках 7–11. Пропускная способность, показанная на графике для 1, 2 и 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 7 и 8, если станция сопряжения не активизирована, то максимальная пропускная способность для одного сеанса связи ТСП/IP ограничена величиной примерно 200 кбит/с. Например, в случае двух сеансов связи ТСП (см. рисунок 8) суммарная пропускная способность ("без станции сопряжения ТСП") ограничена значением примерно 400 кбит/с. С другой стороны, в случае 8 сеансов связи ТСП (см. рисунок 9) суммарная пропускная способность ("без станции сопряжения ТСП") достигает примерно 1,5 Мбит/с, и между случаями "без станции сопряжения ТСП" и "со станцией сопряжения ТСП" нет заметной разницы.

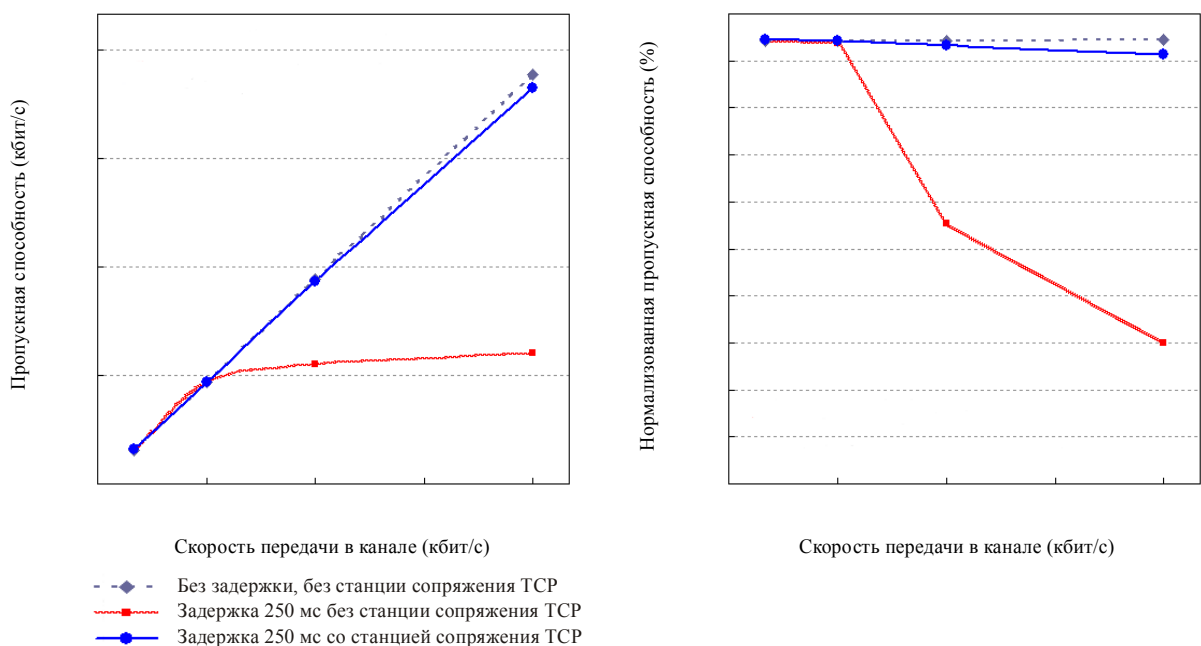
При более высоких значениях КОБ (т. е. КОБ =  $10^{-6}$ ) эффект улучшения снижается, как показано на рисунке 10.

РИСУНОК 7

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

1711-07

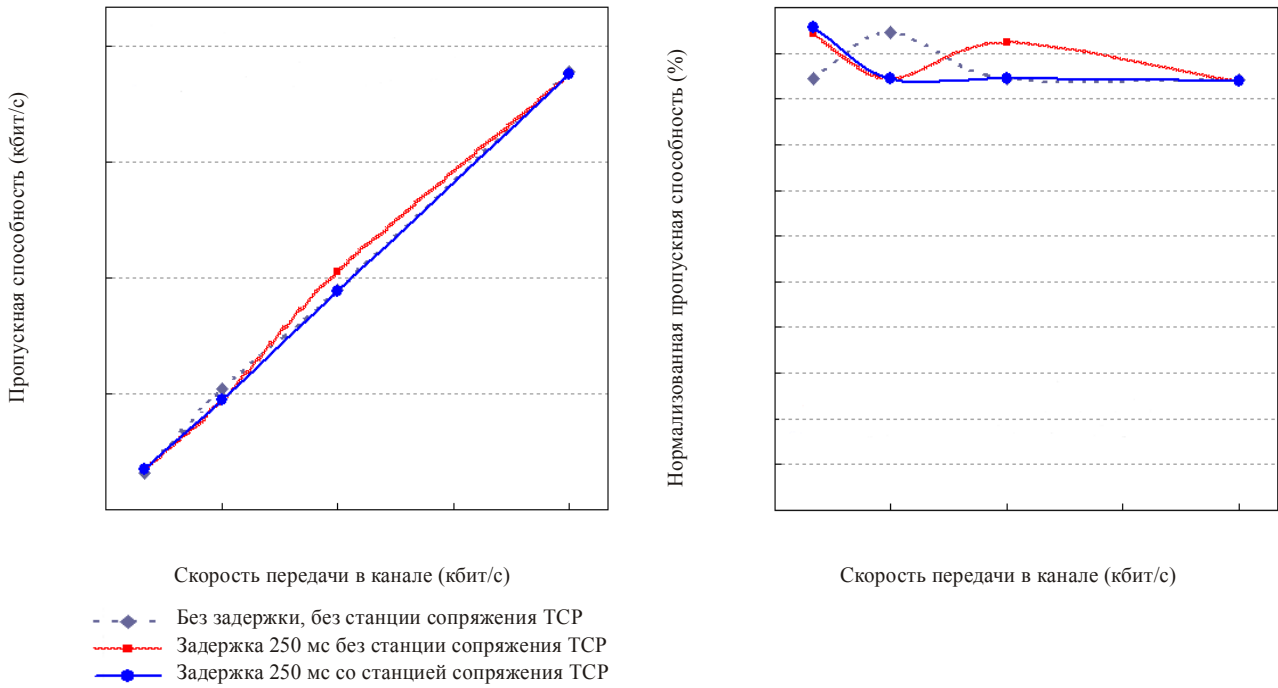
РИСУНОК 8

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

1711-08

РИСУНОК 9

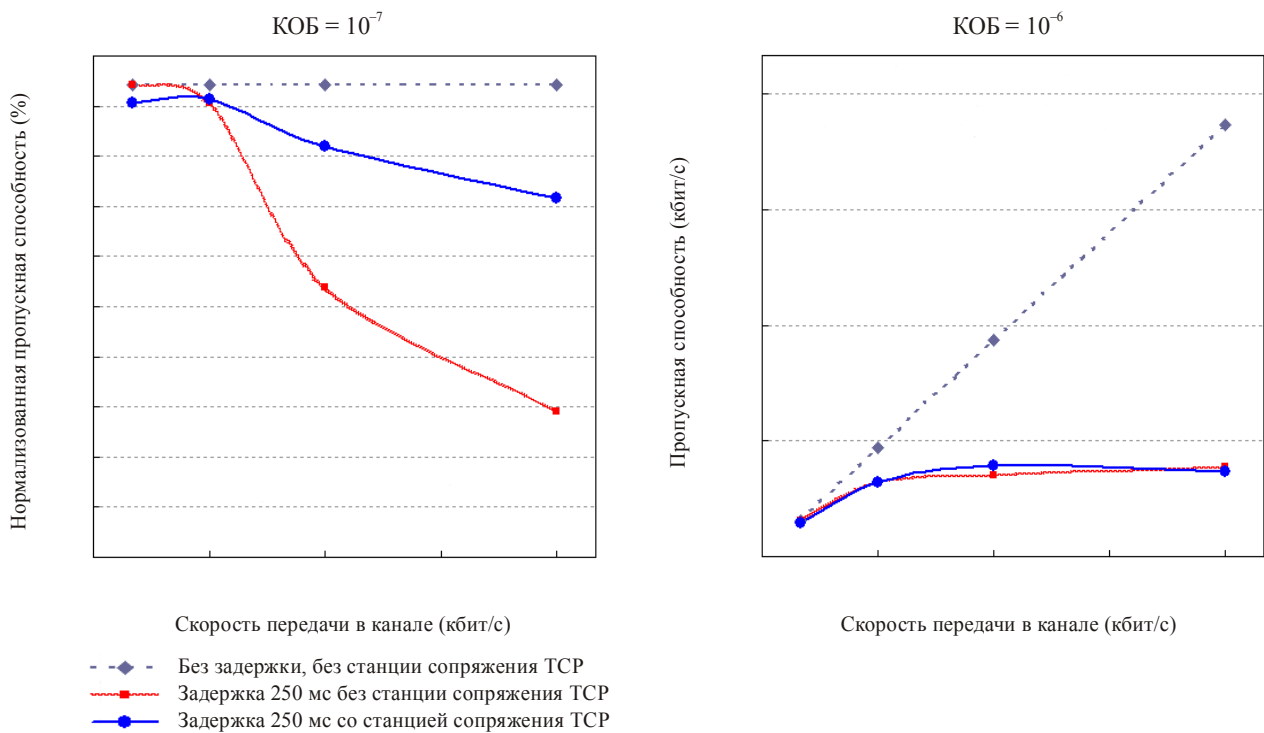
Результат для восьми сеансов связи ТСП (КОБ =  $10^{-8}$ )



1711-09

РИСУНОК 10

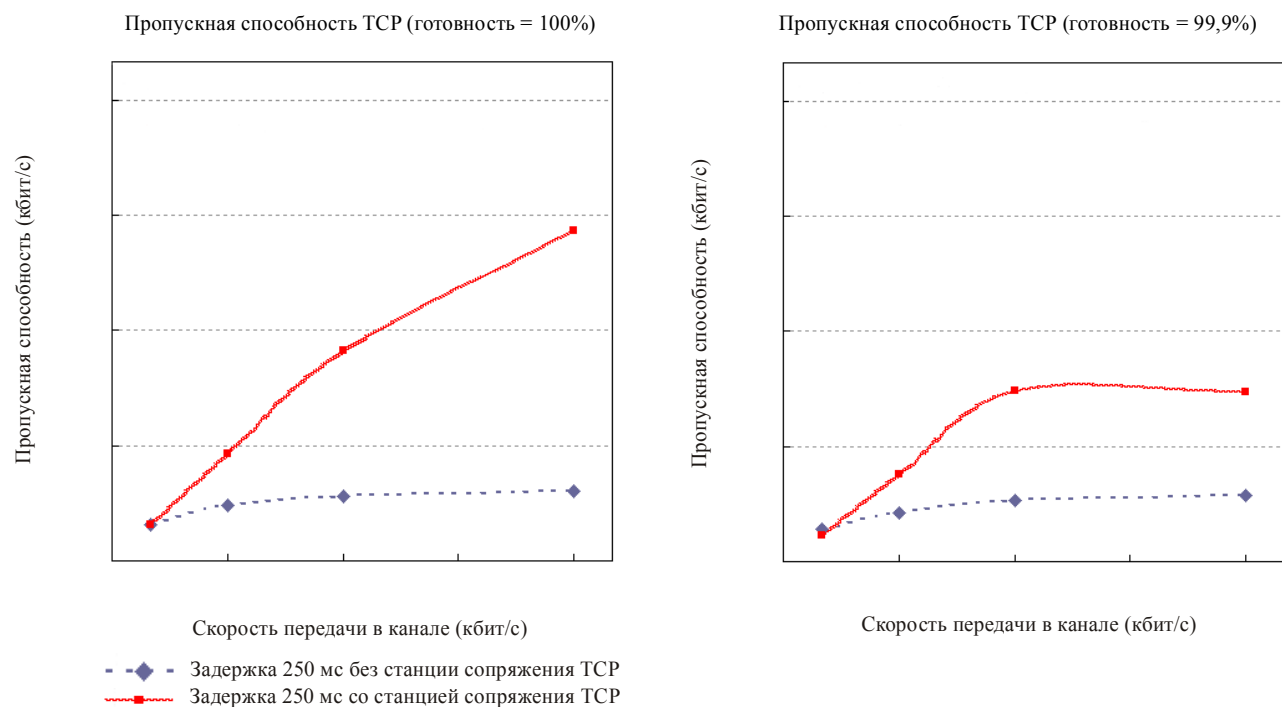
Результат для двух сеансов связи ТСП (КОБ =  $10^{-7}$ ,  $10^{-6}$ )



1711-10

РИСУНОК 11

## Результат для одного сеанса связи ТСП и различных случаев пакетных ошибок



1711-11

### 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

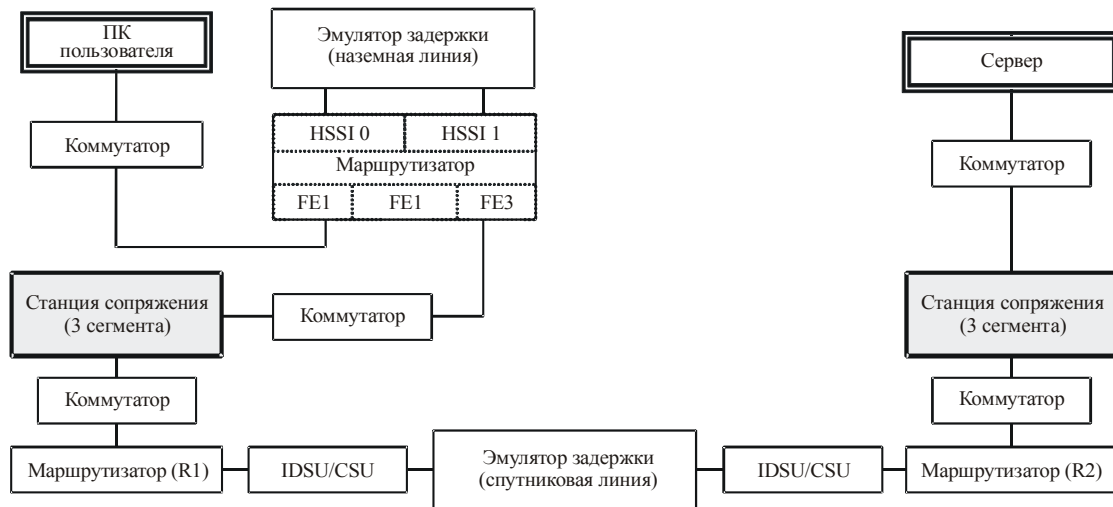
### 2.3.1 Конфигурация спутниковых сетей

Конфигурация сети для проведения испытаний показана на рисунке 12. Сеть содержит два канальных эмулятора, которые должны моделировать условия работы, как линии спутниковой связи, так и наземной магистральной линии 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 к 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 12

**Конфигурация сети для проведения испытаний**

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

1711-12

### 2.3.2 Процедуры испытаний

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

Было выполнено три типа экспериментов:

*Эксперимент 1:* Измерение пропускной способности одного TCP соединения для различных полос пропускания 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 пропускания на каждое соединение

В ходе экспериментов изучалось улучшение качества от применения протокольной станции сопряжения для линий поставщиков услуг интернета, 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 магистральной линии интернета 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 испытания были расширены для изучения влияния задержек и ошибок в магистральной линии интернета, 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 магистральной линии интернета 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

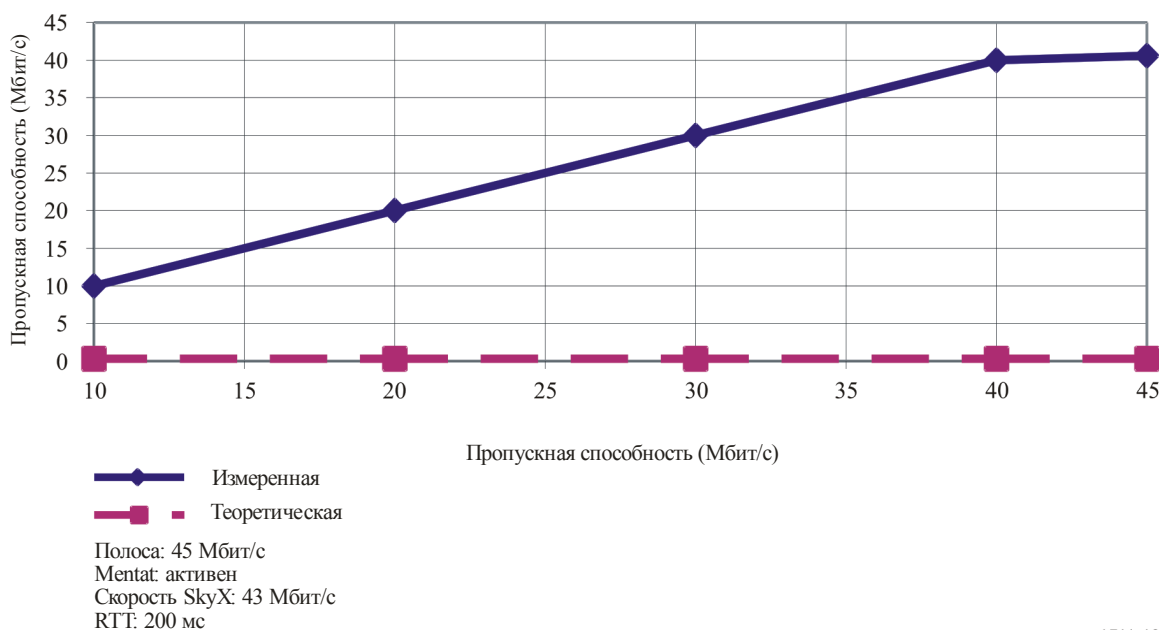
В следующем цикле испытаний изучалось улучшение качества, полученное за счет применения протокольной станции сопряжения на одном TCP соединении. На рисунке 13 показана зависимость пропускной способности от полосы пропускания канала, когда задержка передачи сигнала в обоих

направлениях равна 200 мс, и дается сравнение измеренной пропускной способности при использовании протокольной станции сопряжения с теоретической максимальной пропускной способностью ТСП без каких-либо улучшений. На рисунке 14 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 ТСП. Даже при задержке 700 мс протокольная станция сопряжения позволяет ТСП соединению реализовать преимущества доступности полной полосы частот.

РИСУНОК 13

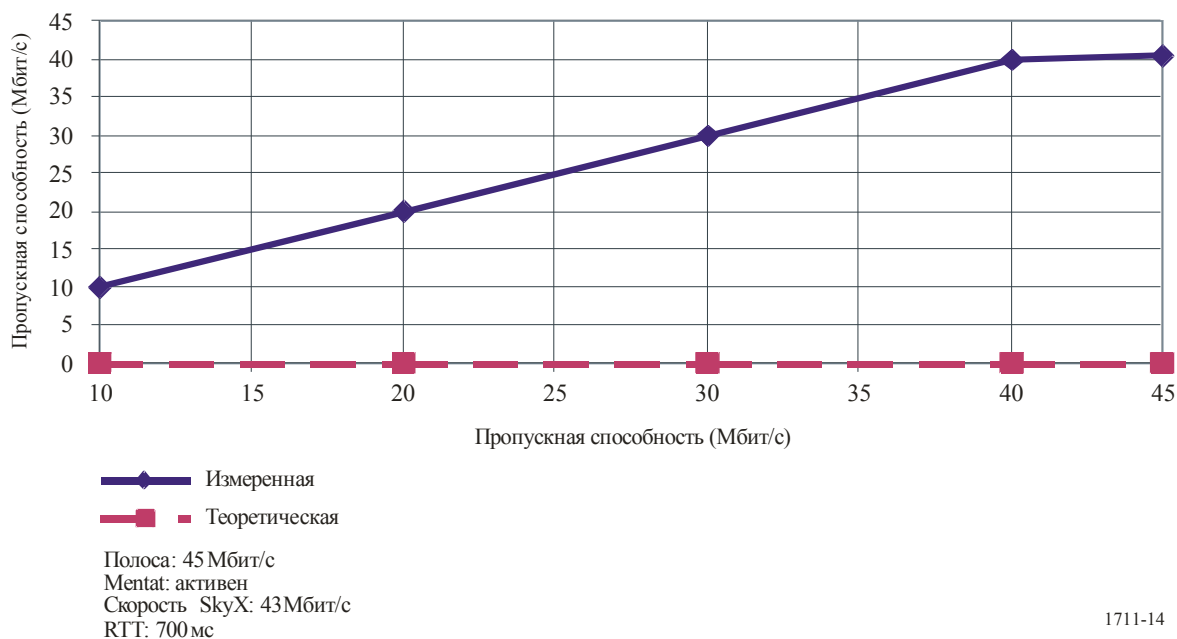
Улучшение качества одного наземного ТСП соединения за счет использования протокольной станции сопряжения



1711-13

РИСУНОК 14

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



1711-14

### 2.3.3.2 Измерение качественных показателей нескольких TCP соединений

Поставщики услуг интернета, предоставляющие услуги домашним пользователям, как правило, поддерживают на своих сетях не одно объемное TCP соединение, а большое количество мелких соединений. Скорости передачи в TCP соединениях, как правило, ограничиваются скоростями пользовательских соединений с сетью поставщика. Поэтому целью следующего цикла испытаний было изучение улучшения качественных показателей TCP в присутствии станции сопряжения TCP и при ее отсутствии, для большого количества TCP 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 соединений TCP без улучшений

На рисунках 15 и 16 показана суммарная пропускная способность на линии между пользователем и сервером без каких-либо улучшений TCP для множества TCP 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 15 показана суммарная пропускная способность для наземной линии. При задержке 200 мс протокол TCP способен обеспечить суммарную пропускную способность вблизи значений теоретического максимума всегда, кроме случаев с очень большими коэффициентами ошибок по битам.

На рисунке 16 показана суммарная пропускная способность для соединения с использованием спутниковой линии. При задержке 700 мс, даже в отсутствие ошибок, пропускная способность TCP ограничена величиной 31 Мбит/с для 350 соединений. При больших коэффициентах ошибок по битам качество TCP резко падает.

РИСУНОК 15

Множество TCP соединений на наземной линии без улучшений

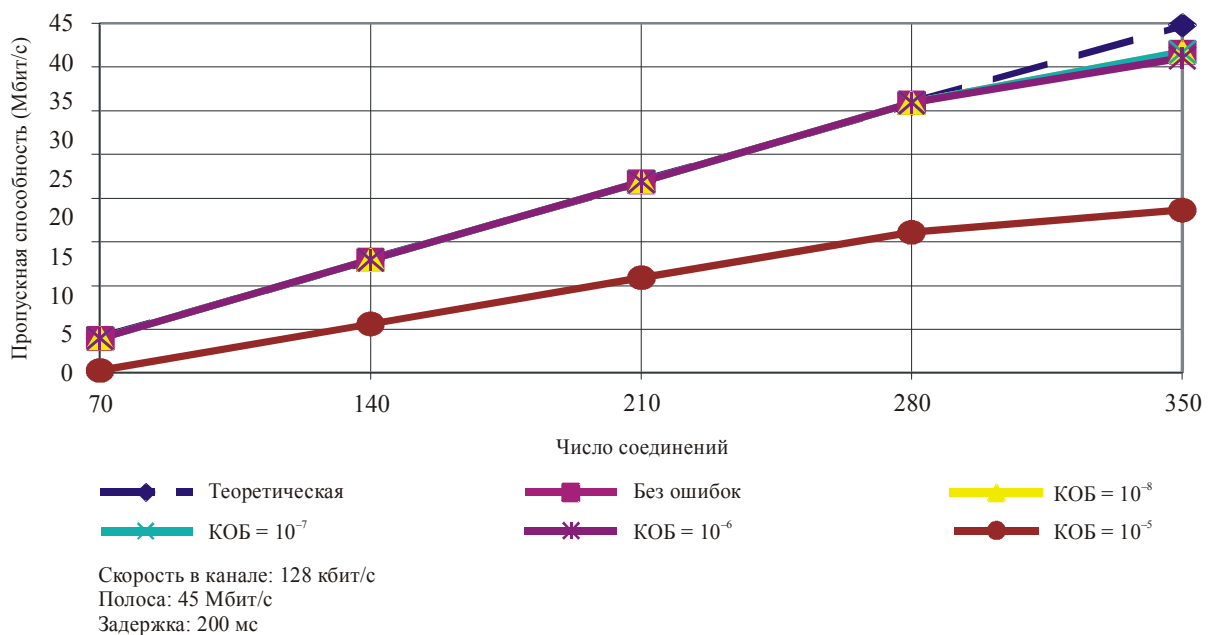
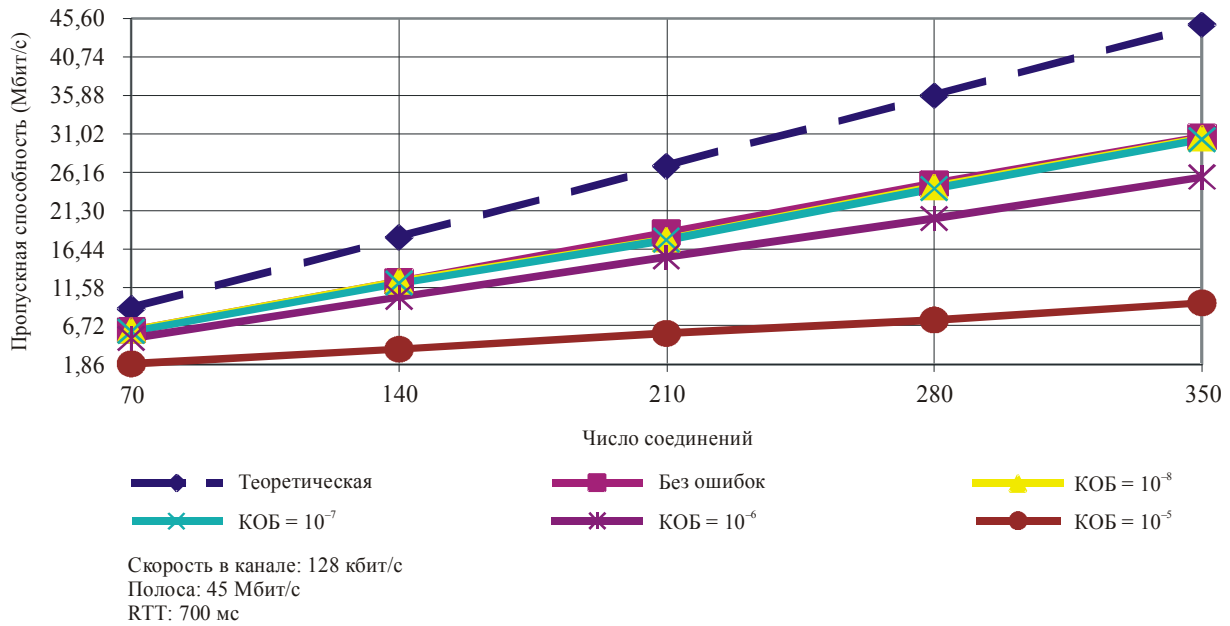


РИСУНОК 16

## Множество TCP соединений на спутниковой линии без улучшений



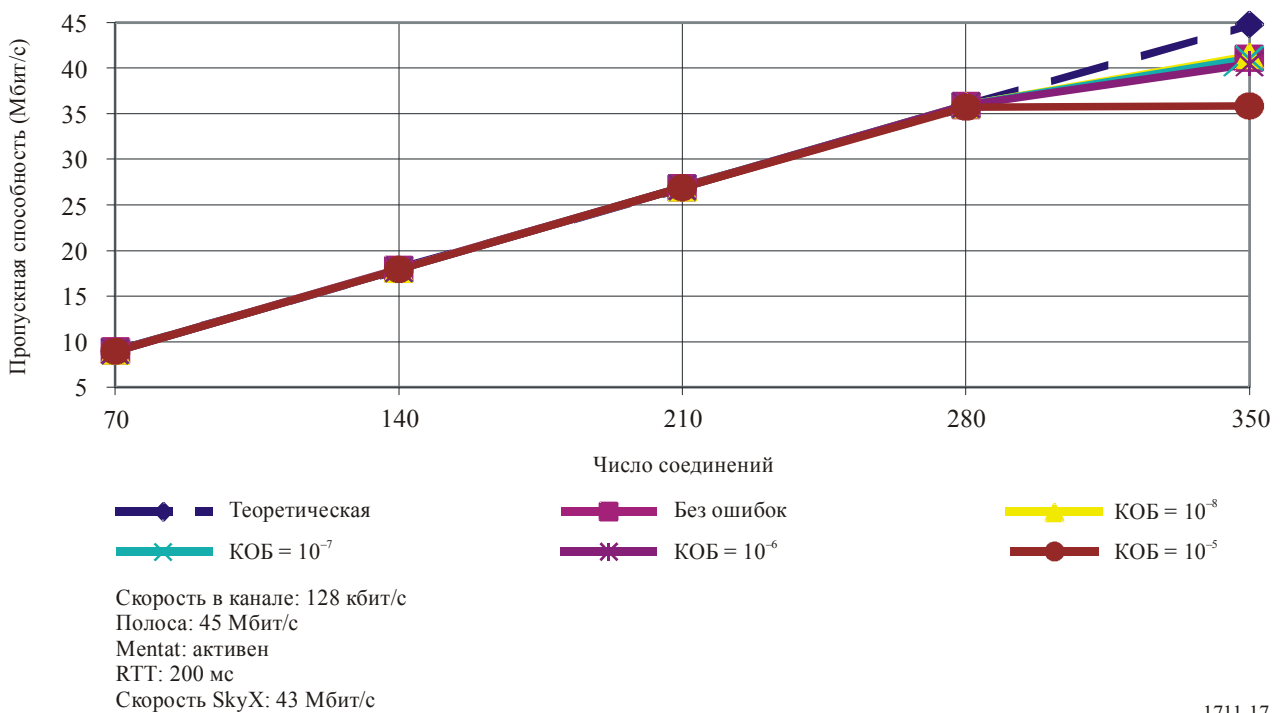
1711-16

## 2.3.3.4 Множество TCP соединений с улучшениями за счет протокольной станции сопряжения

Рисунки 17 и 18 иллюстрируют влияние добавления в сеть протокольной станции сопряжения. На рисунке 17 показана суммарная пропускная способность для задержки 200 мс, а на рисунке 18 показаны результаты для задержки 700 мс.

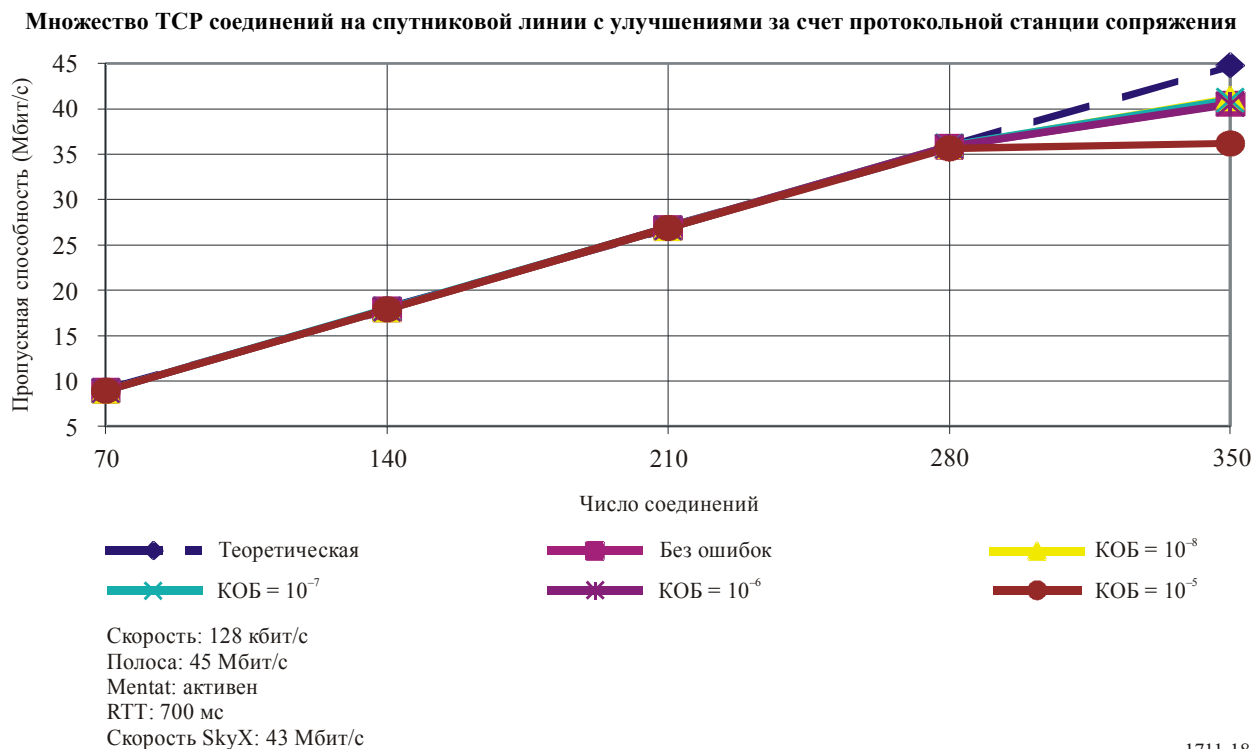
РИСУНОК 17

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



1711-17

РИСУНОК 18



1711-18

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

По сравнению с п. 2.3.3.3 протокольная станция сопряжения дает почти 100-процентное улучшение по суммарной пропускной способности при 10-процентной потере пакетов (что соответствует КОБ =  $1 \times 10^{-5}$  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 TCP.

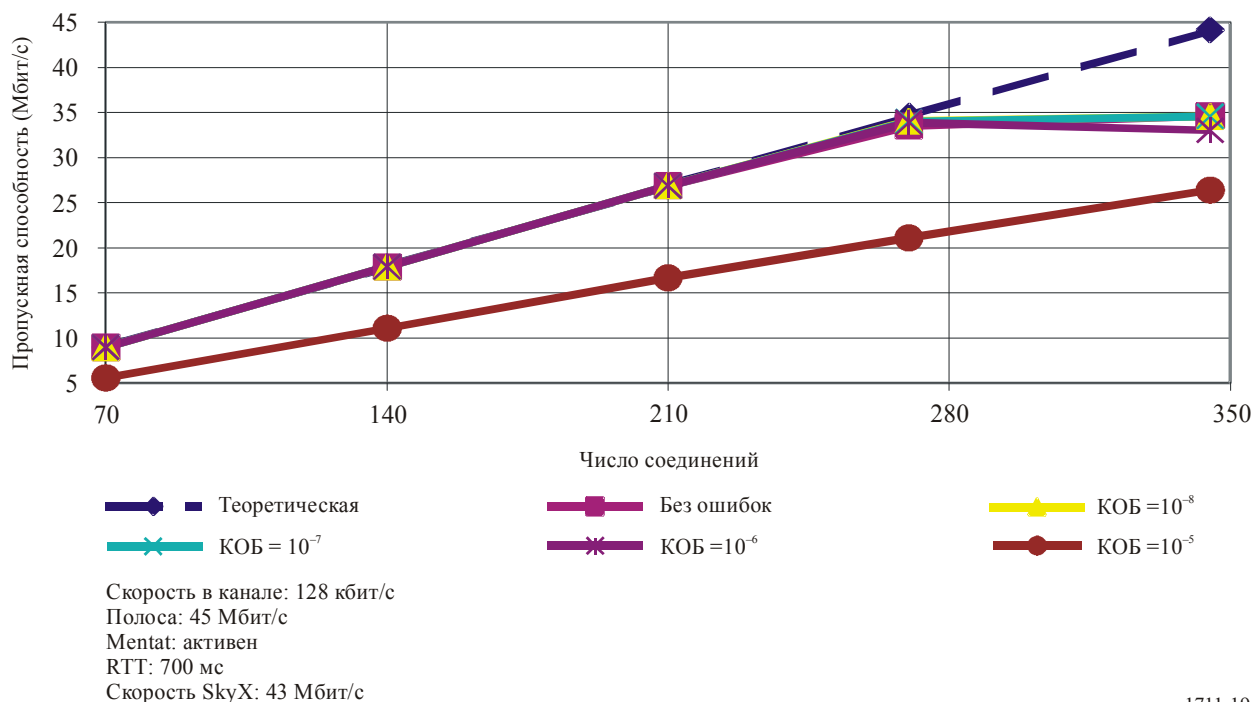
### 2.3.3.5 Множество TCP соединений с потерями данных на наземной линии

Рассмотрим качество связи пользователей интернета, пользующихся услугами спутниковых поставщиков. Такое соединение проходит по спутниковой линии и по наземной магистрали до сервера. При этом наблюдаются потери данных из-за перегрузки на магистральной линии интернета. 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 19 видно, что протокольная станция сопряжения позволяет поддерживать полную скорость передачи почти без ухудшений, кроме условий с потерей большого числа пакетов. Сравнивая рисунок 19 с рисунками 16 и 18, 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 19

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



1711-19

### 2.3.4 Выводы

Результаты этих испытаний показывают, что устройства разделения протокольной станции сопряжения/соединения могут повысить пропускную способность для поставщиков, передающих TCP трафик по линиям спутниковой связи с задержками до 700 мс. Испытания показывают также, что пропускная способность TCP не страдает до тех пор, пока КОБ на линии лучше, чем  $10^{-7}$ .

## 3 Испытания и измерения TCP для передач по спутниковым сетям с использованием кэширования и спуфинга

### 3.1 Введение

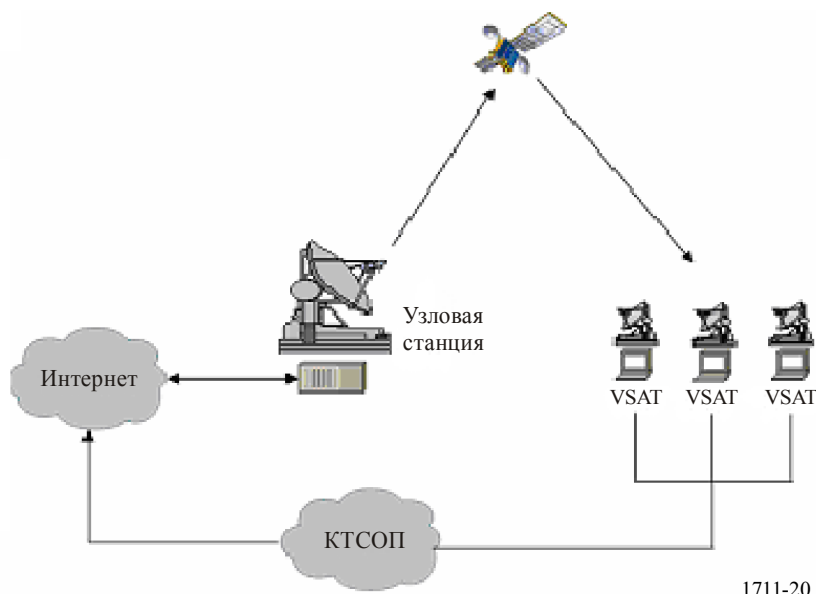
В данном разделе описаны испытания и результаты измерений для 5 случаев использования спутникового интернета и одного случая наземного интернета. Цель данных испытаний и измерений состоит в том, чтобы убедиться в эффективности кэширования и спуфинга в спутниковой сети. Как показано на рисунке 20, традиционно услуги интернета предоставляются через геостационарные спутниковые системы связи с помощью однонаправленной спутниковой линии (линии вниз), для того чтобы преодолеть задержку при передаче, вызванную большим расстоянием Земля-космос и сохранить затраты на оборудование, используемое на линии вверх и т. д.

Компания Korea Telecom (КТ) и Институт информатики и электросвязи университета Хансэй (HITRI) исследовали кэширование и спуфинг для двунаправленного спутникового интернета. Спуфинг используется для уменьшения времени, требуемого для установления связи. Кэширование используется для улучшения эффективности полосы частот передачи.



РИСУНОК 20

## Конфигурация однонаправленной спутниковой сети интернет



## 3.2 Испытания и измерения

### 3.2.1 Характеристики оборудования

Характеристики системы, используемой для испытаний и измерений, показаны в таблицах 11–13. В таблице 11 показаны характеристики для наземной системы, в таблице 12 для спутниковой системы, а в таблице 13 для терминалов VSAT.

ТАБЛИЦА 11

#### Характеристики наземной системы

Узловая земная станция	1 станция с антенной 9 м	
Оконечный терминал VSAT	2 станции с антеннами по 1,2 м	IDU/ODU ACQ: 191.0 PING: 1686 мс PTS: VSAT_141b_uts
Линия связи HUB-Интернет	45 Мбит/с	

ТАБЛИЦА 12

#### Характеристики спутниковой системы

Орбита	GSO 116° в. д.
Название спутника	Mugunghwa-3
Ретранслятор	Полоса частот: 36 МГц Входящая линия: 11,040 МГц (480 кГц, группа из 23) Исходящая линия: 24,8 МГц
Диапазон частот	Ку-диапазон (14 ГГц/12 ГГц)
Скорость передачи информации	Входящая линия: 128 кбит/с ~ 256 кбит/с Исходящая линия: 23,58 Мбит/с

ТАБЛИЦА 13

**Характеристики терминала VSAT**

Пояснение	Элементы	Параметр
Опция Интернет	Начальная страница	Без подтверждения
	Космос	1 МВ
	Установление соединения с LAN	Нет
	Уровень безопасности	Нормальный
	Дрожание изображения	Удалено
	Плавное перемещение экрана	Удалено
Виртуальная память	Минимальная	384 МВ
	Максимальная	768 МВ
	Размер регистра	64

**3.2.2 Конфигурации сети для испытаний и измерений**

Для проведения испытаний использовались четыре конфигурации спутниковой сети, построенной по топологии "звезда" и одна конфигурация наземной сети. Данные конфигурации показаны на рисунках 21 и 22, соответственно. Узловая станция каждой спутниковой сети, используемой в испытаниях, соединена с интернетом по выделенной линии со скоростью 45 Мбит/с. Для измерений качественных показателей были выбраны 4 веб-сайта в интернете:

- A: [www.naver.com](http://www.naver.com), сайт-портал;
- B: [www.google.com](http://www.google.com), сайт на текстовой основе;
- C: [www.hansei.ac.kr](http://www.hansei.ac.kr), сайт университета;
- D: [www.kbstar.co.kr](http://www.kbstar.co.kr), сайт банка.

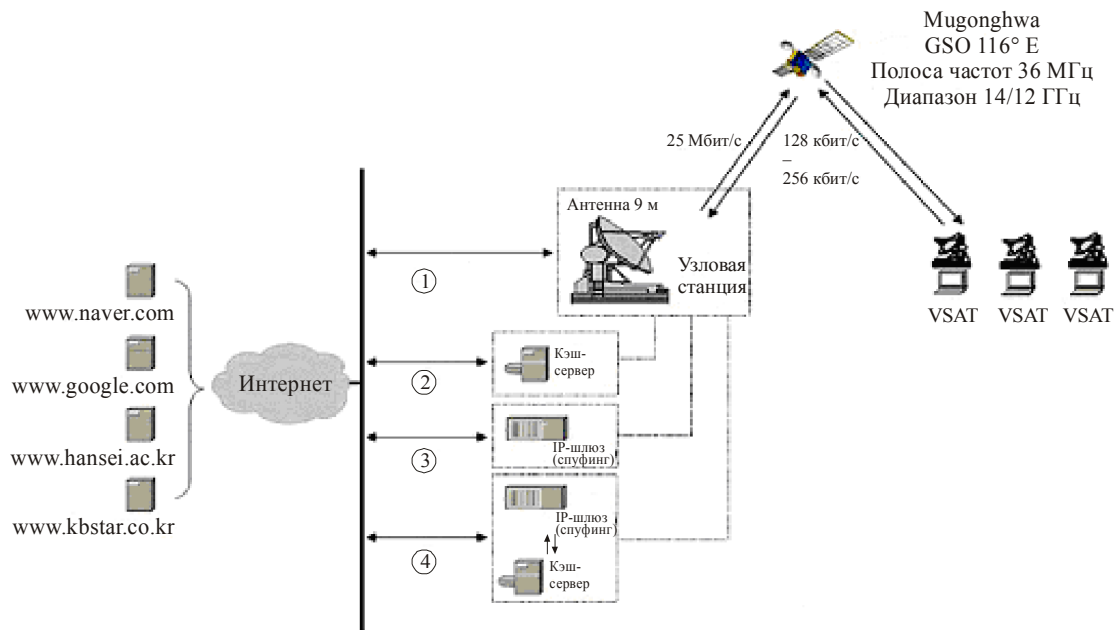
На рисунке 21 показаны четыре конфигурации спутниковой сети, используемых для испытаний и измерений:

- без кэширования/спуфинга: спутниковая сеть напрямую подключается к выбранным веб-сайтам через узловую станцию;
- только с кэшированием: спутниковая сеть подключается к выбранным веб-сайтам через кэш-сервер, расположенный на узловой станции;
- только со спуфингом: спутниковая сеть подключается к выбранным веб-сайтам через IP-шлюз (IPGW), расположенный на узловой станции. Спуфинг выполняется и IP-шлюзом узловой станции и внутренним модулем (IDU) терминалов VSAT;
- с кэшированием и спуфингом: поскольку спуфинг часто не достаточно эффективен для преодоления задержки спутниковой передачи и достаточного улучшения качественных показателей TCP для передач по спутниковым сетям, то он используется совместно с кэшированием. Спутниковая сеть подключается к выбранным веб-сайтам через IPGW и кэш-сервер.

В качестве эталона проводились измерения качественных показателей наземного доступа в интернет. На рисунке 22 показана конфигурация наземной сети для испытаний и измерений.

РИСУНОК 21

## Конфигурация экспериментальной спутниковой сети

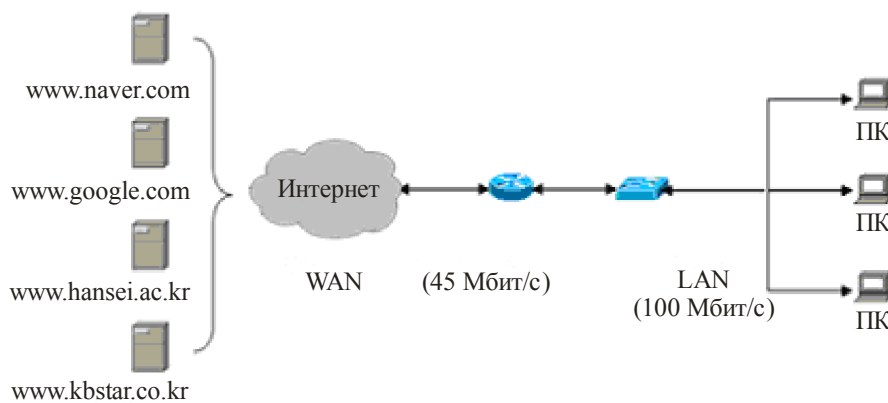


- Случай ① без кэширования и спуфинга  
 Случай ② без кэширования  
 Случай ③ без спуфинга  
 Случай ④ с кэшированием и спуфингом

1711-21

РИСУНОК 22

## Конфигурация экспериментальной наземной сети интернет



1711-22

## 3.2.3 Результаты испытаний и измерений

Испытания и измерения проводились три раза с 20-минутным интервалом сбора выборок  $2 \times 15$  (15 для каждого из измеренных параметров, т. е. времени соединения и пропускной способности), для каждого из 5 случаев, описанных в п. 3.2.2. Эти выборки были усреднены и представлены в таблице 14.

ТАБЛИЦА 14

Сравнение среднего времени соединения (с) со средней пропускной способностью (кбайт/с)

Веб-сайт	Эталонные значения наземного доступа		Доступ спутниковой сети							
			Случай 1: без спуфинга и кэширования		Случай 2: с кэшированием		Случай 3: со спуфингом		Случай 4: со спуфингом и кэшированием	
	Время соединения (с)	Пропускная способность (кбайт/с)	Время соединения (с)	Пропускная способность (кбайт/с)	Время соединения (с)	Пропускная способность (кбайт/с)	Время соединения (с)	Пропускная способность (кбайт/с)	Время соединения (с)	Пропускная способность (кбайт/с)
A	3,5	110,8	35,7	10,3	44,9	9,7	15,6	24,7	14,1	27,8
B	1,4	11,9	9,5	2,1	9,8	1,6	5,9	2,9	5,2	3,1
C	5,9	131,7	56,9	13,1	44,3	13,9	31,1	30,4	14,7	54,3
D	6,1	99,1	28,4	6,1	22,9	7,7	15,4	10,9	13,0	17,9

A: [www.naver.com](http://www.naver.com), сайт-портал;B: [www.google.com](http://www.google.com), сайт на текстовой основе;C: [www.hansei.ac.kr](http://www.hansei.ac.kr), сайт университета;D: [www.kbstar.co.kr](http://www.kbstar.co.kr), сайт банка.

### 3.3 Выводы

Для каждого из четырех веб-сайтов, участвующих в эксперименте, использование одного спуфинга улучшает качественные показатели TCP/IP для передач по спутниковым сетям, как с точки зрения пропускной способности, так и времени соединения. Напротив, в случае использования только кэширования, пропускная способность оказывается значительно ниже, а время соединения значительно больше для веб-сайтов А (портала, сайта на основе движущегося изображения) и В (веб-сайт на текстовой основе), чем без использования какого-либо метода повышения качественных характеристик.

При совместном использовании спуфинга и кэширования для TCP/IP спутниковой сети, качественные показатели пропускной способности и времени соединения улучшились для всех веб-сайтов (например, пропускная способность терминала VSAT увеличилась с 1,5 раза (для веб-сайта В) до 4,2 раза (для веб-сайта С), время соединения уменьшилось с 1,8 раза (для веб-сайта В) до 3,9 раза (для веб-сайта С)).

## 4 Качественные показатели TCP на спутниковых сетях ATM

В разделе 4.1 описаны условия эксперимента и конфигурация сети. В разделе 4.2 приведены результаты измерения пропускной способности TCP в спутниковой сети ATM. В разделе 4.3 рассмотрено поведение TCP, когда широкополосная спутниковая сеть ATM соединена с высокоскоростными наземными сетями, например, гигабитным Ethernet. В разделе 4.4 даны выводы, сделанные в ходе данного эксперимента.

### 4.1 Конфигурация сети

На рисунке 23 показана конфигурация корейско-японской высокоскоростной спутниковой сети ATM. 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 линии связи ATM 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  $45^\circ$ ): 32 дБ/К (минимум).
- ТС 8-ИКМ модуляция/демодуляция.
- Кодирование: конволюционное с  $K = 7$ ,  $R = 7/8$  и Рида-Соломона.
- 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 сеть ATM была построена для передачи трафика двух типов – трафика интернета и видео в реальном времени. На рисунках 24 и 25 показаны подробные конфигурации экспериментальной сети и стеки протоколов.

РИСУНОК 23

Конфигурация сети для корейско-японского эксперимента

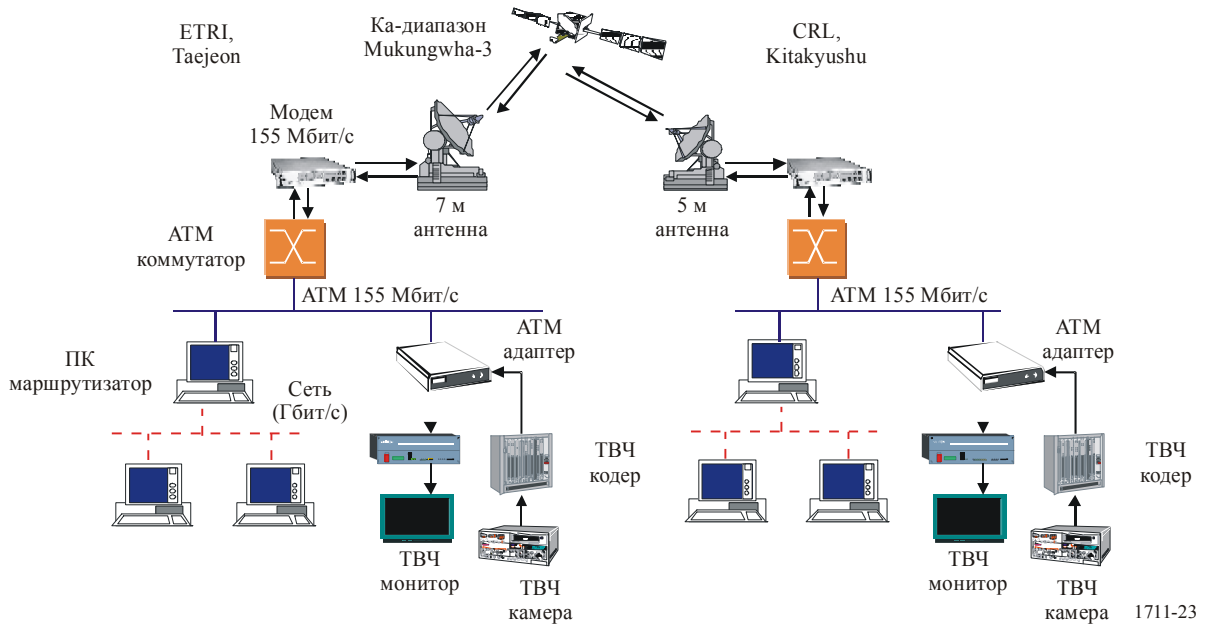


РИСУНОК 24

Конфигурация экспериментальной сети

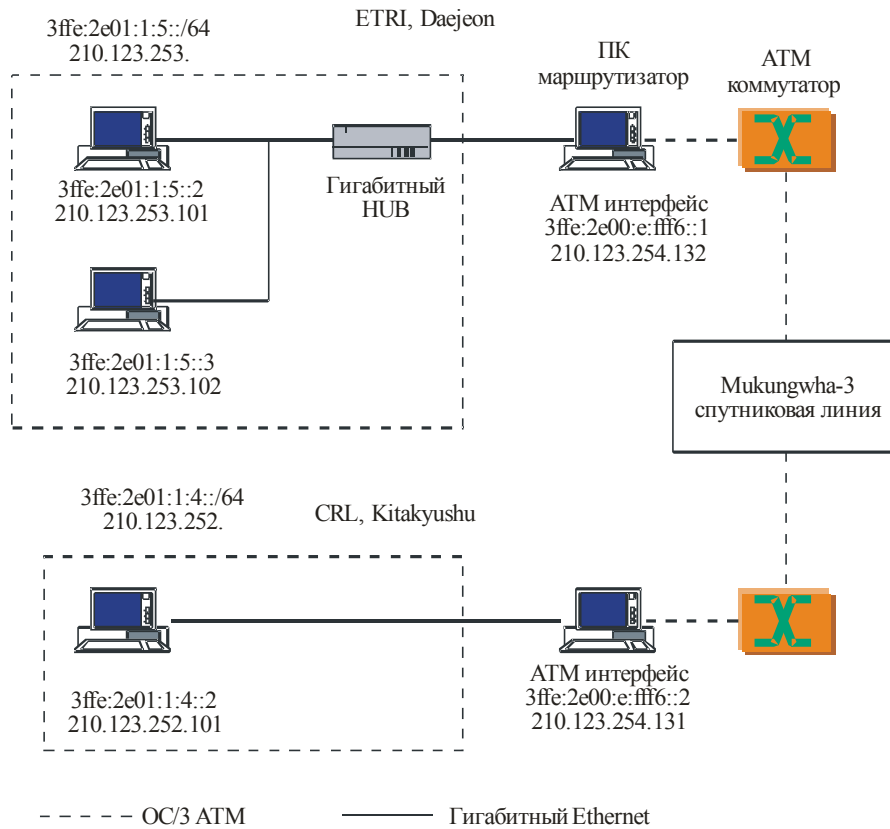
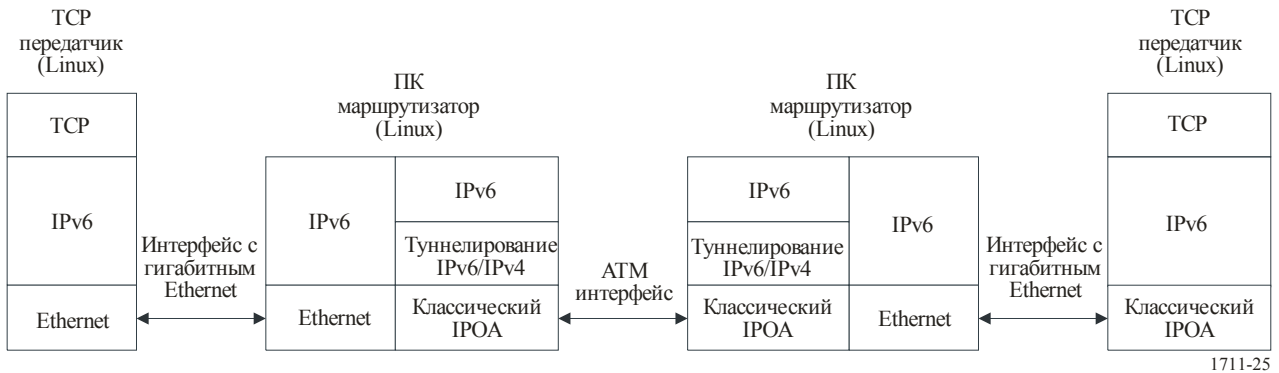




РИСУНОК 25

## Стеки протокола экспериментальной сети, соединенной через ПК маршрутизатор

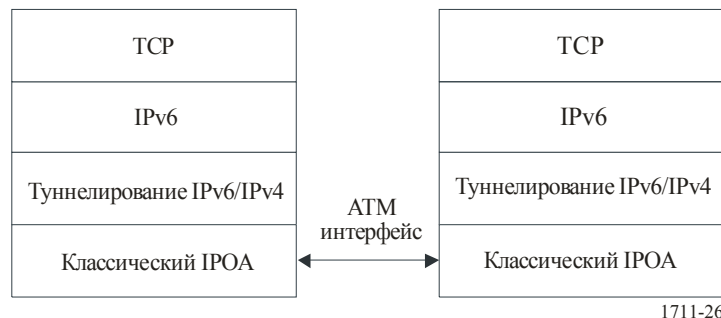


## 4.2 Качественные показатели ТСП на спутниковых сетях АТМ (без наземных сегментов)

Сначала измерялась пропускная способность ТСП в чистой сети АТМ 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 сетях АТМ еще не полностью реализована. Стек протокола туннелирования IPv6/IPv4 для спутниковой сети АТМ показан на рисунке 26.

РИСУНОК 26

## Стеки протокола туннелирования IPv6/IPv4 в соединении АТМ



Размер MTU для передачи IP по сети АТМ, 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 ТСП окна в спутниковой сети АТМ используется масштабирование ТСП, размер MSS уменьшается на число необязательных байтов ТСП. 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 PDU равен:

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

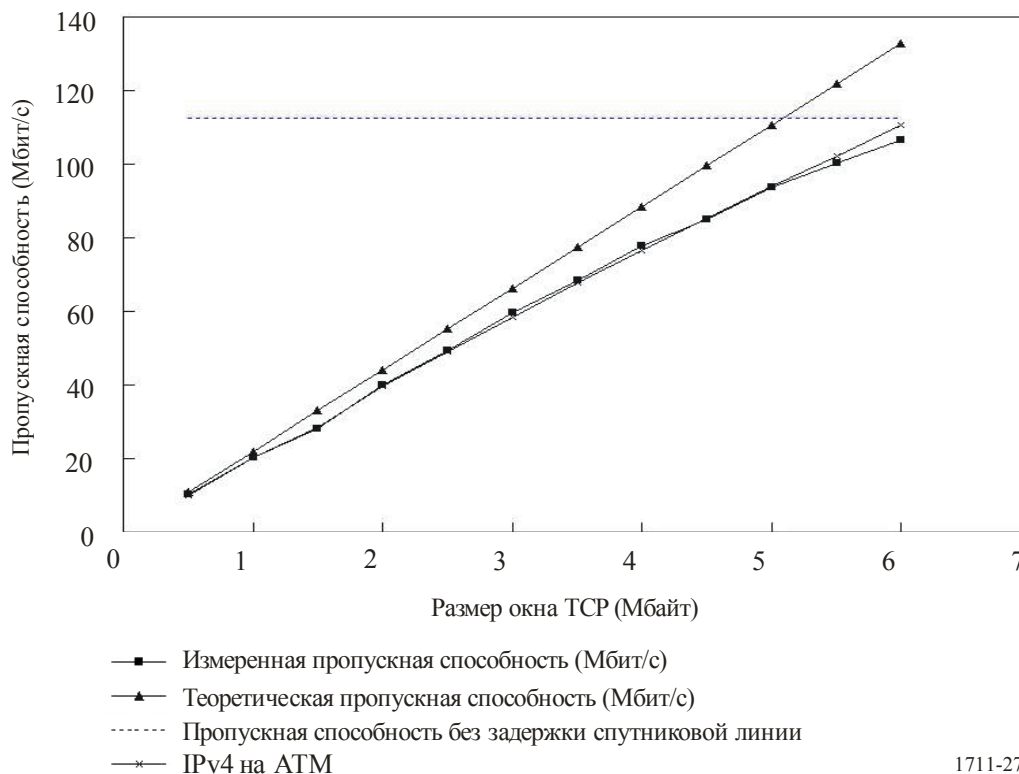
Чистая скорость передачи ячейки в STM-1 равна примерно 149 Мбит/с, а полоса для АТМ нагрузки в 48-байтовых ячейках АТМ равна примерно 134,94 Мбит/с. Следовательно, теоретический максимум полосы пропускания ТСП в сети ОС-3 определяется выражением:

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

На рисунке 27 показана пропускная способность ТСР для различных размеров ТСР окна. Когда размер ТСР 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 ТСР в чисто АТМ сети с задержкой передачи сигнала в обоих направлениях через геостационарный спутник, равной 540 мс.

РИСУНОК 27

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



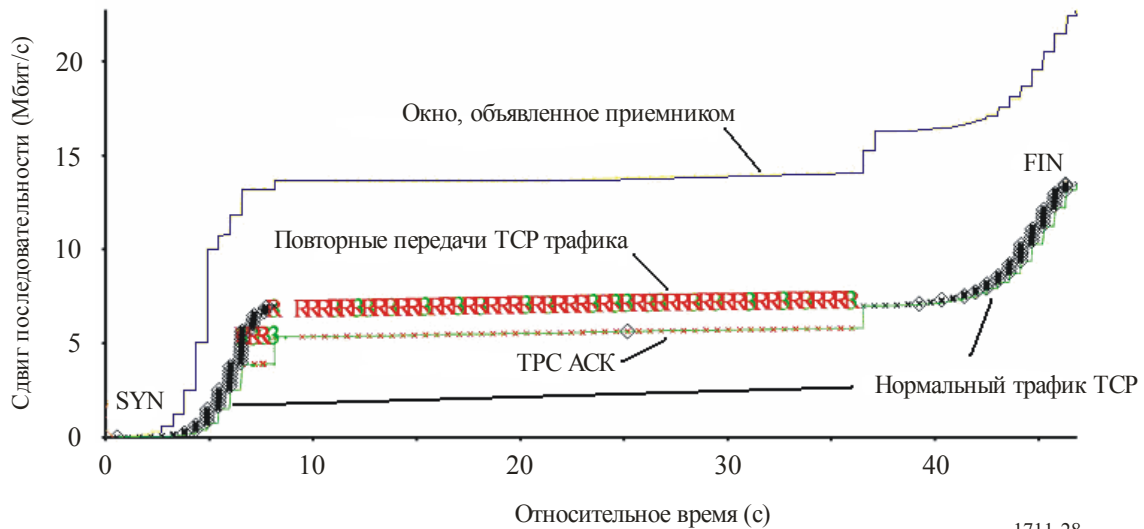
1711-27

### 4.3 Поведение ТСР в разнородных сетях, включающих спутниковые линии

Далее измерялась пропускная способность ТСР, когда источник сигнала располагался в одной гигабитной подсети, а адресат – в другой гигабитной подсети. Когда размер окна ТСР в спутниковой сети с задержкой 540 мс был установлен равным 6 Мбайт, максимальная пропускная способность достигалась не более 2–3 Мбит/с. Это происходило из-за импульсного характера ТСР трафика, обусловленного тем, что в протяженных сетях с высокой пропускной способностью (LFN) устанавливается слишком большой размер ТСР окна. Когда для наиболее полного использования полосы пропускания протяженной LFN сети увеличивается размер ТСР окна, ТСР 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 ТСР окнами. Следовательно, потери пакетов на промежуточном маршрутизаторе снижают пропускную способность ТСР. На рисунке 28 показан график ТСР последовательности на ТСР передатчике. В течение первых 8 секунд мы наблюдаем затяжной ТСР пуск. С увеличением размера ТСР окна возникают потери пакетов, вызванные переполнением буфера промежуточного маршрутизатора. Потеря пакетов влечет за собой многочисленные повторные передачи. Протокол ТСР 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 ТСР становится чрезвычайно плохой.

РИСУНОК 28

График TCP последовательности на источнике TCP трафика



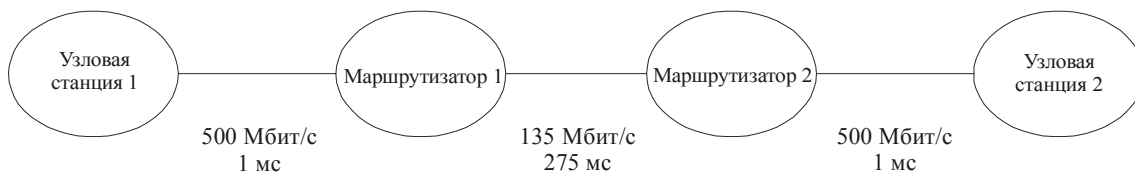
1711-28

#### 4.3.1 Моделирование размера буфера

Размер буфера промежуточного маршрутизатора можно оценить при помощи расчетов и моделирования. Конфигурация схемы моделирования, использующей сетевой эмулятор, показана на рисунке 29. В ходе моделирования максимальная доступная полоса частот TCP и ATM сетей была установлена равной 500 Мбит/с и 135 Мбит/с, соответственно.

РИСУНОК 29

Конфигурация схемы моделирования



1711-29

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 сети ATM, 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 сети ATM составляет 500 Мбит/с и 135 Мбит/с соответственно, теоретически требуемый размер буфера экспериментальной сети равен примерно 3187 пакетов. На рисунках 30 и 31 показан результат моделирования с применением сетевого эмулятора – 2. На рисунке 30 показаны TCP последовательность, АСК и число пакетов в промежуточной очереди. На рисунке 31 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 30

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

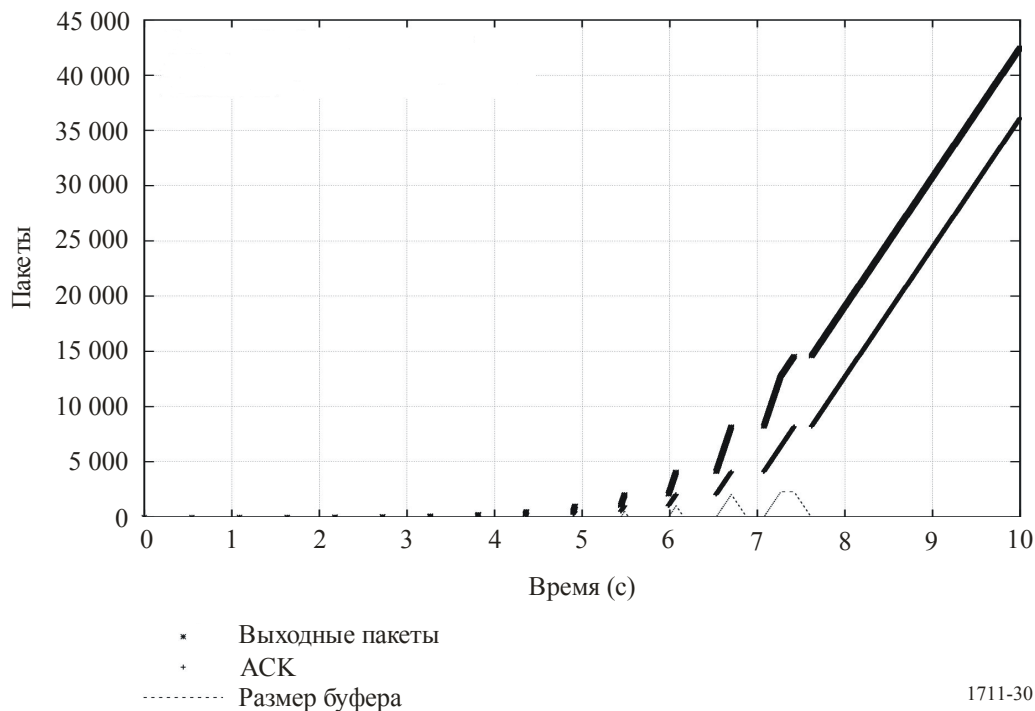
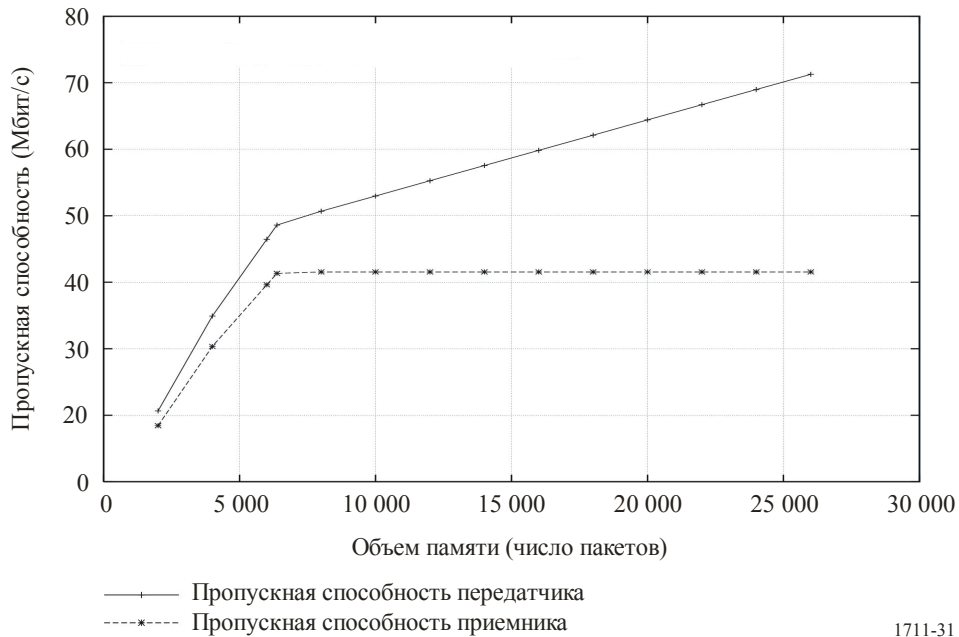


РИСУНОК 31

## Значения пропускной способности ТСП при различных размерах буфера



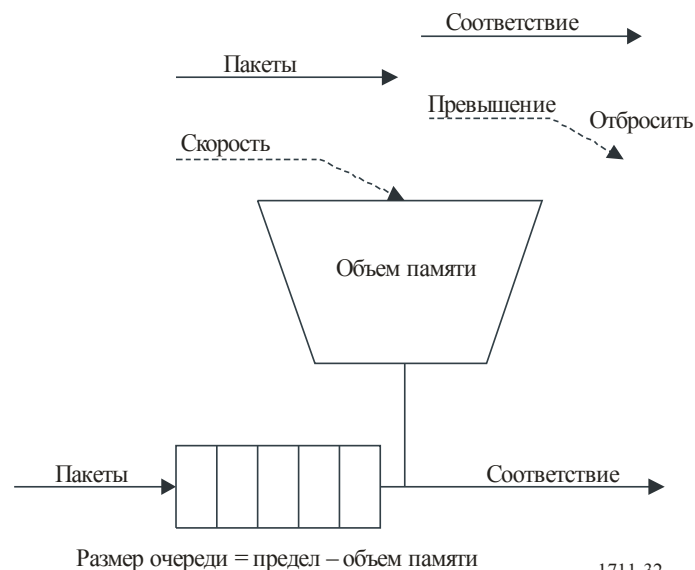
1711-31

## 4.3.2 Качественные показатели ТСП при регулировании трафика на передатчике

Затем использовался механизм управления формированием трафика, называемый TBF (поддерживаемый продвинутой сетевой версией Linux). TBF регулирует скорость импульсного трафика ТСП. На рисунке 32 показаны базовые параметры правил построения очереди TBF. *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 32

## Базовые параметры TBF правил построения очереди

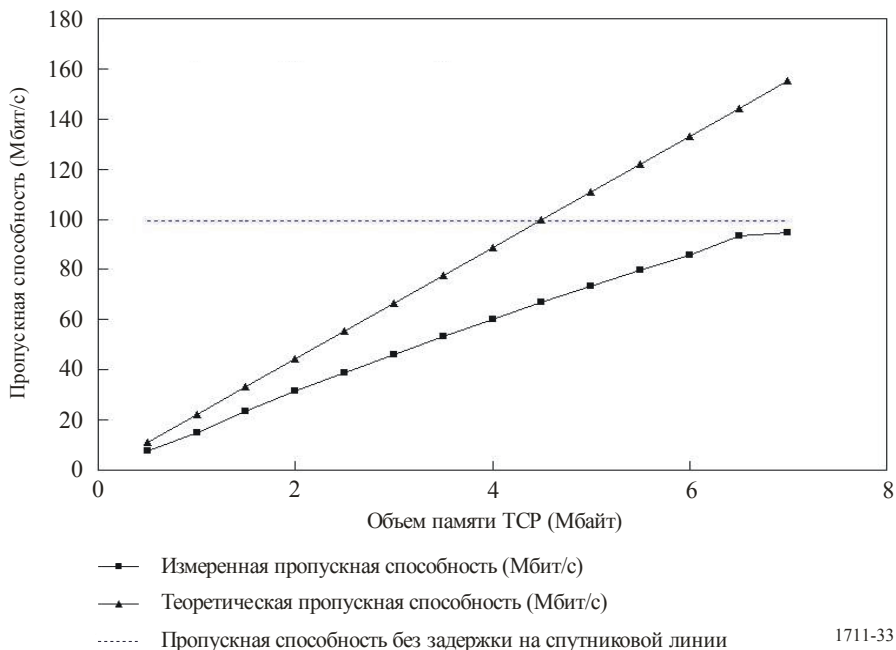


1711-32

На рисунке 33 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 34 показана пропускная способность ТСП с различными размерами объема памяти. Наилучшая пропускная способность получена при объеме памяти 120–130 кбайт. Если объем памяти превышает 130 Мбайт, начинается потеря пакетов на промежуточном маршрутизаторе из-за импульсного характера ТСП трафика.

РИСУНОК 33

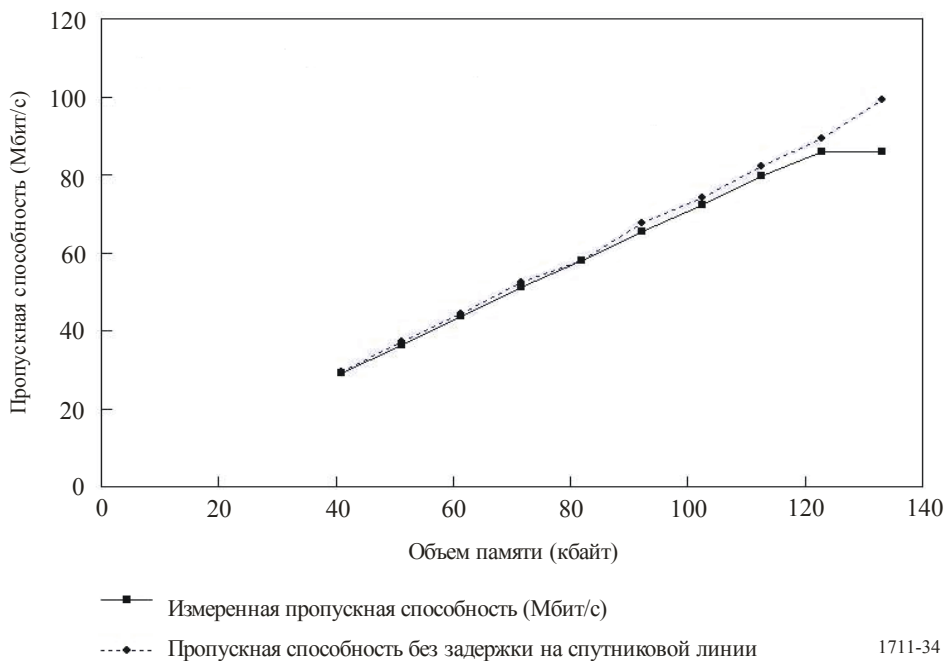
Значения пропускной способности ТСП с различными размерами объема памяти для случая, когда в ТСП передатчике использовался механизм TBF



1711-33

РИСУНОК 34

Значения пропускной способности ТСП с различными размерами объема памяти



1711-34

#### 4.4 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 буфер ТСП с объемом памяти примерно 6 Мбайт.

2 Когда источник сигнала ТСП находится в сети с другой средой передачи, которая работает быстрее, чем спутниковая магистральная сеть АТМ, требуются специальные механизмы для снижения импульсности трафика, обусловленной большими размерами окна ТСП. Можно рассмотреть два решения: большой буфер на промежуточных маршрутизаторах или регулировка трафика на источнике сигнала ТСП. 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 трафика ТСП. Для другого случая был рассмотрен механизм регулировки трафика на источнике сигнала ТСП: 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 окна ТСП в течение коротких промежутков времени генерируют импульсный трафик ТСП. 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.

### 5 Качественные показатели ТСП в спутниковых сетях доступа

В настоящем разделе приведены результаты испытаний, выполненных бразильской спутниковой компанией "Star One". В разделе 5.1 описана архитектура сети, использованной для испытаний. В разделе 5.2 приведены сведения об измерениях качественных показателей системы с использованием метода деления на три сегмента и их результаты. В разделе 5.3 приводятся некоторые выводы, сделанные в результате измерений, содержащихся в п. 5.2.

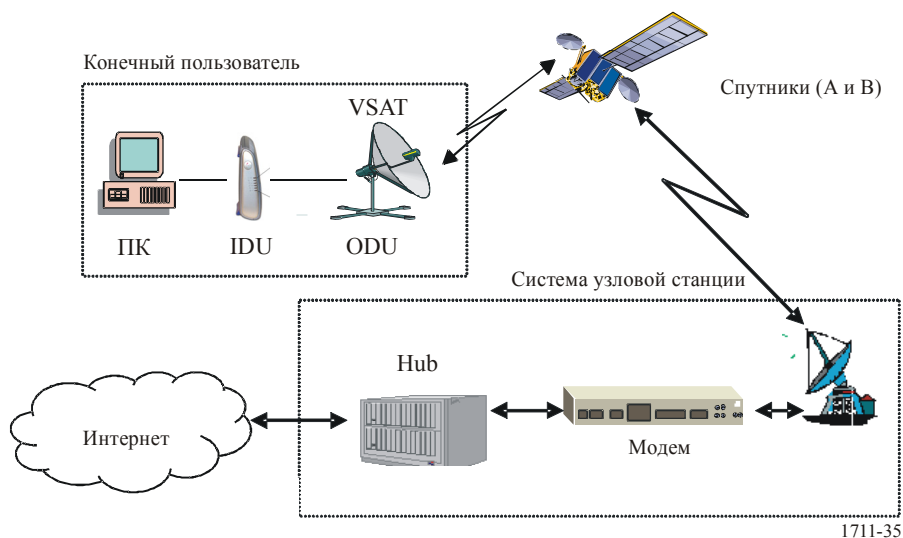
#### 5.1 Архитектура и конфигурация сети

##### 5.1.1 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 35 показана архитектура системы, использованная для достижения требуемых качественных показателей.

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.

РИСУНОК 35  
Архитектура сети



## 5.1.2 Конфигурация

### 5.1.2.1 Характеристики терминала VSAT и спутника

Два геостационарных спутника работают в диапазоне 14 068–14 214 МГц (Земля-космос) и 11 774–11 919 МГц (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 15. Различные значения необходимых отношений  $E_b/N_0$  на исходящей линии показаны в таблице 16.

ТАБЛИЦА 15

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



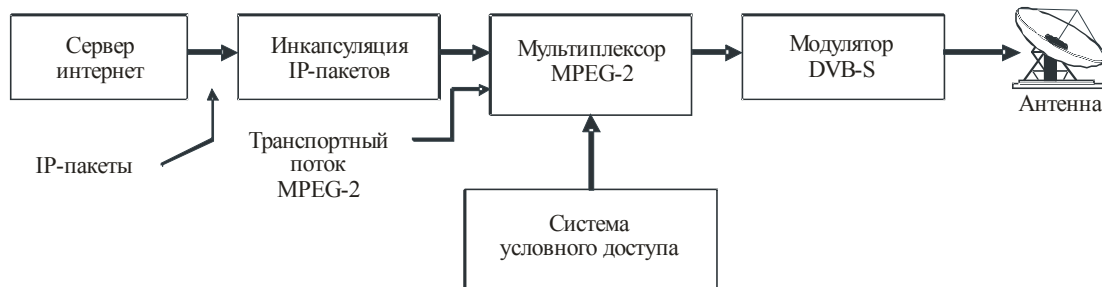
ТАБЛИЦА 16

## Характеристики исходящего канала

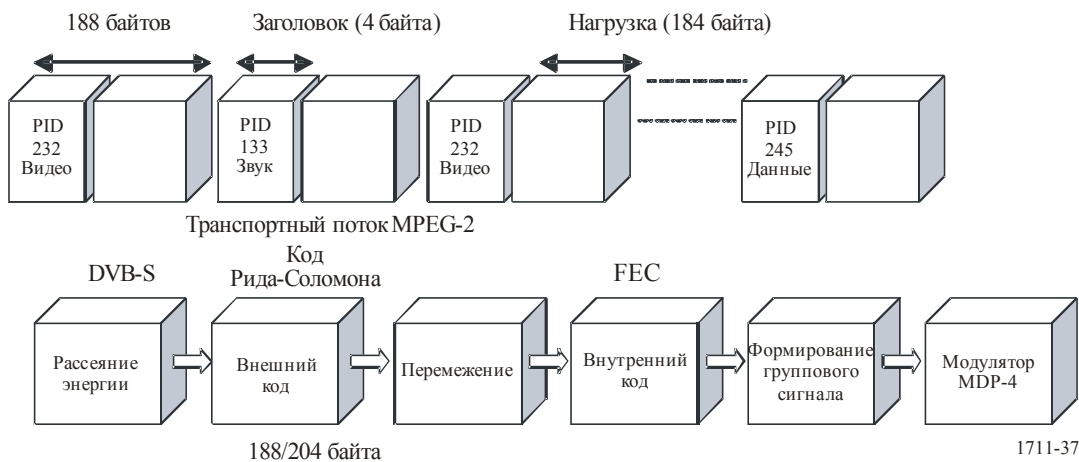
Коэффициенты FEC	Режим DVB-S
	Минимальное значение $E_b/N_0$ (дБ)
1/2	4,5
2/3	5,0
3/4	5,5
5/6	6,0
7/8	6,4

## 5.1.2.2 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 36 и 37.

РИСУНОК 36  
MPEG по DVB-S

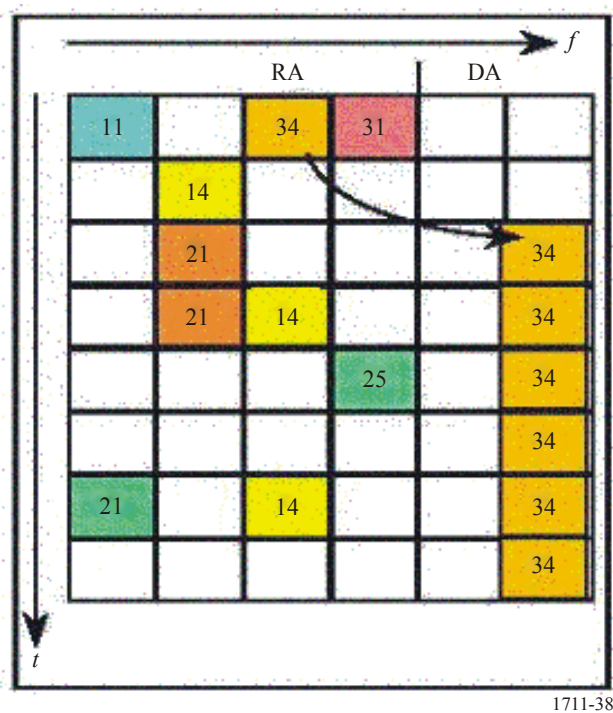
1711-36

РИСУНОК 37  
Транспортный поток MPEG

1711-37

Обратные каналы (входящие каналы) – это каналы СЧ-МДВР, разделенные на каналы RA и каналы DA, как показано на рисунке 38.

РИСУНОК 38  
Обратные каналы



1711-38

## 5.2 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.

### 5.2.1 Доступность

В таблице 17 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.

### 5.2.2 Пропускная способность

В таблицах 18 и 19 показаны значения усредненной пропускной способности кластеров 2 и 3 (соответственно) и работающих с ними узловых спутниковых процессоров (HSP). Ежедневно в течение всего февраля 2004 года проводилось примерно по 200 измерений в день.

ТАБЛИЦА 17

## Доступность исходящего канала системы

Месяц	В кластере			Суммарная недоступность исходящего канала системы из-за дождя, сцинтилляции и т. д.
	Кластер 1	Кластер 2	Кластер 3	
Январь	100,0	99,0	N/A	1,4%
Февраль	100,0	100,0	N/A	1,1%
Март	99,9	100,0	N/A	0,2%
Апрель	100,0	100,0	N/A	0,0%
Май	100,0	100,0	99,9	0,0%
Июнь	100,0	100,0	99,9	0,0%
Июль	100,0	100,0	100,0	0,0%
Август	100,0	100,0	100,0	0,0%
Сентябрь	100,0	100,0	100,0	0,0%
Октябрь	99,9	99,9	99,9	0,0%
Ноябрь	100,0	99,9	100,0	0,1%
Декабрь	100,0	100,0	100,0	0,1%
В среднем за год	100,0	99,9	100,0	0,2%

ТАБЛИЦА 18

## Средняя пропускная способность кластера 2

Значение	Средняя пропускная способность за день (кбит/с)			
	Кластер 2	HSP 1	HSP 2	HSP 3
Среднее	308,97	310,33	309,02	307,58
Медианное	307,66	311,76	309,50	306,63
Максимальное	319,11	317,44	321,36	324,09
Минимальное	302,13	304,03	299,06	298,70

ТАБЛИЦА 19

## Средняя пропускная способность кластера 3

Значение	Средняя пропускная способность за день (кбит/с)				
	Кластер 3	HSP 1	HSP 2	HSP 3	HSP 4
Среднее	253,05	247,09	251,04	266,74	266,74
Медианное	253,24	246,87	252,15	266,99	266,99
Максимальное	262,35	256,94	259,45	282,42	282,42
Минимальное	243,98	237,55	241,94	249,46	249,46

### 5.2.3 Трафик

В таблицах 20 и 21 показан суммарный входящий трафик кластеров 2 и 3 (соответственно), который измерялся ежедневно в течение всего февраля 2004 года.

ТАБЛИЦА 20  
Трафик кластера 2

Значение	Суммарный трафик за день (Гбайт)			
	Кластер 2	HSP 1	HSP 2	HSP 3
Среднее	6,08	5,72	6,21	6,30
Медианное	7,02	6,60	7,00	7,00
Максимальное	7,65	7,57	8,10	7,99
Минимальное	3,56	3,15	3,80	3,51

ТАБЛИЦА 21  
Трафик кластера 3

Значение	Суммарный трафик за день (Гбайт)				
	Кластер 3	HSP 1	HSP 2	HSP 3	HSP 4
Среднее	4,84	5,44	4,58	5,74	3,58
Медианное	5,33	6,26	4,65	6,35	3,88
Максимальное	6,33	7,44	6,34	7,54	5,14
Минимальное	2,64	2,79	2,39	2,63	1,89

### 5.3 Выводы

Испытания, проведенные на сетях VSAT в Бразилии и предназначенные для обеспечения подключения IP, показывают, что деление на три сегмента, а также сжатие IP-заголовков позволяет предложить среднюю пропускную способность, близкую к теоретическому максимуму. Также этот метод гарантирует хорошую стабильность средней пропускной способности в течение месяца.

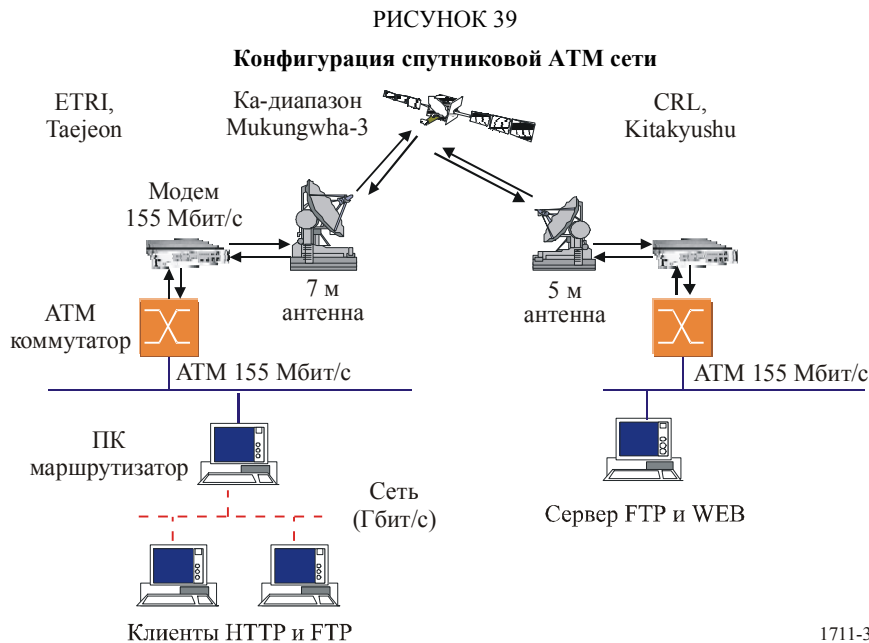
### 6 Измерения для прикладных протоколов (FTP и HTTP)

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

В разделе 6.1 описана конфигурация сети, использованная в ходе эксперимента. В разделе 6.2 представлены результаты измерений для протокола FTP. В разделе 6.3 кратко описывается протокол HTTP и приведены результаты измерений для протокола HTTP. В разделе 6.4 даны выводы.

## 6.1 Конфигурация спутниковой сети ATM

На рисунке 39 показана конфигурация корейско-японской высокоскоростной спутниковой сети ATM. 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 сети ATM приведены в разделе 4.1.



1711-39

В CRL был размещен сервер FTP и HTTP, созданный на основе ПК с операционной системой Linux. Этот сервер был напрямую соединен с сетью ATM. 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 спутниковую сеть ATM.

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 HTTP 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 HTTP 1.0 и HTTP 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 22.

ТАБЛИЦА 22

## Сведения о веб-страницах

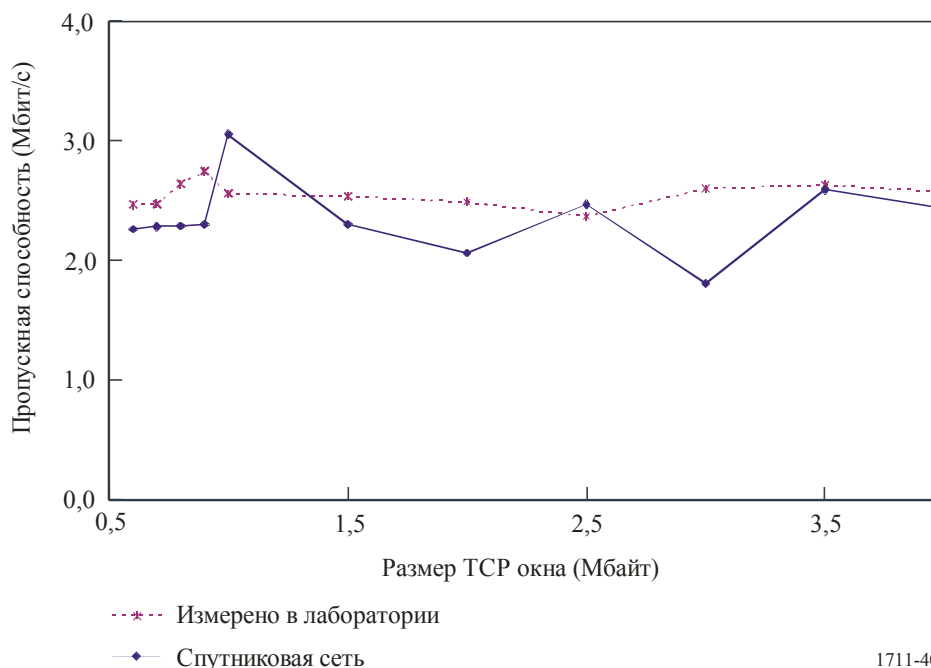
Веб-страница	Количество элементов	Размер страницы (байтов)
China2008	30	212 207
CRL	21	80 333
FIFA	33	176 105
LionKing	16	393 672
RBLAB	8	72 103

## 6.2 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). Была измерена пропускная способность FTP при изменении размера буфера окна ТСР в предположении, что размер файла составляет около 92,1 Мбайт. На рисунке 40 показана пропускная способность FTP как для реальной линии спутниковой связи, так и для ее модели.

РИСУНОК 40

## Пропускная способность FTP на линии 155 Мбит/с спутниковой сети

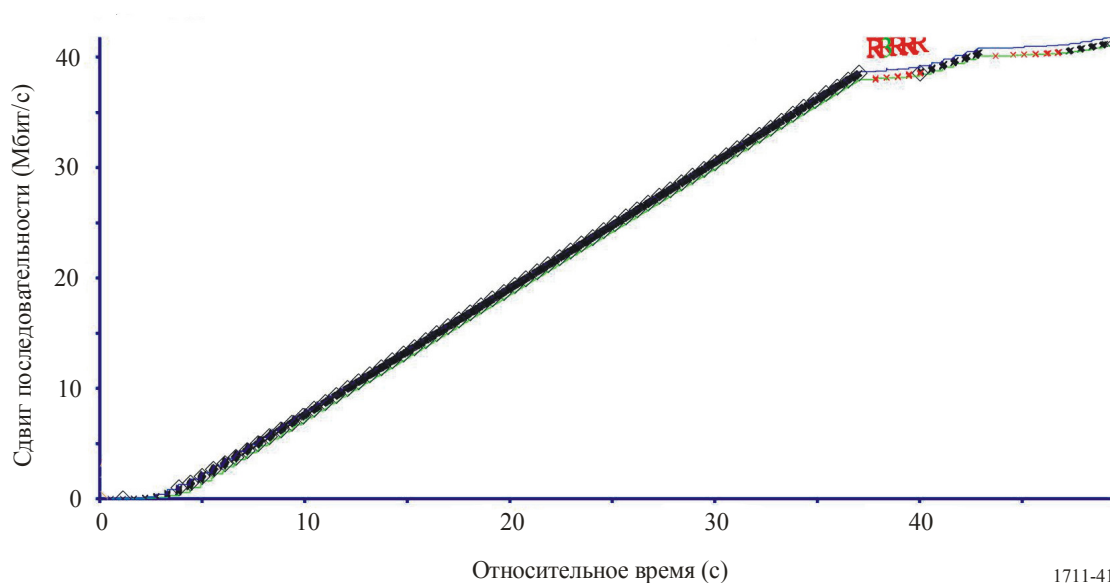


1711-40

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 41 и 42 показаны графики временной последовательности ТСР и окна перегрузки ТСР, соответственно, для буфера ТСР окна размером 1 Мбайт. В течение первых 38 секунд передача файла протекает нормально, затем наблюдалась утеря некоторых данных, что потребовало повторной передачи (поскольку ТСР считает причиной утери данных перегрузку сети).

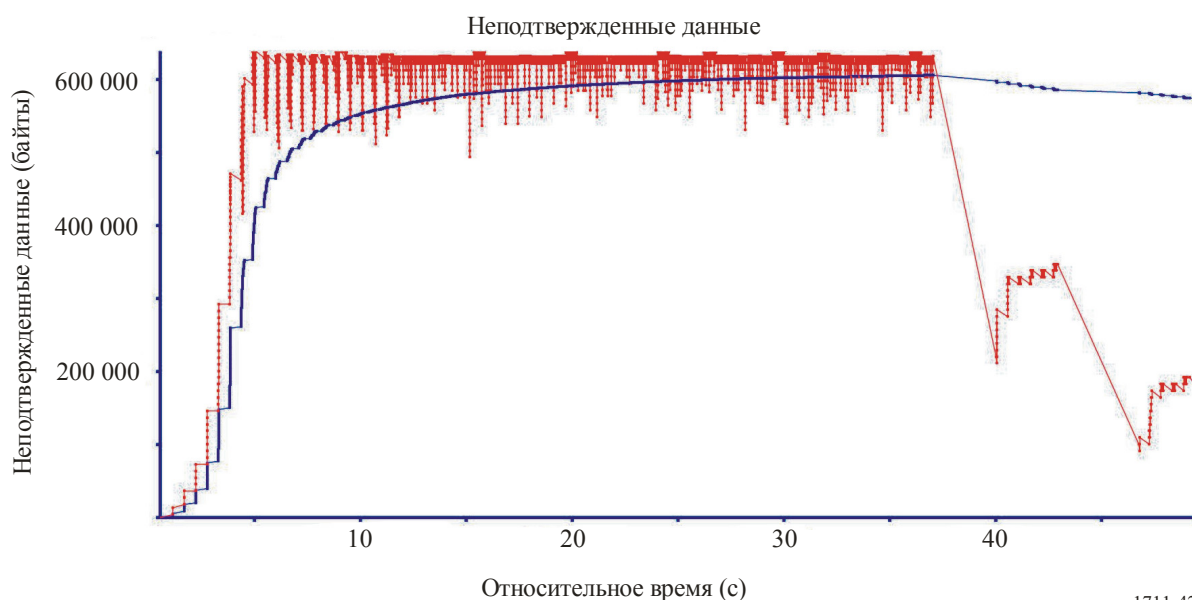
На рисунке 42 механизм перегрузки TCP уменьшает размер окна наполовину. На рисунке 41 показан новый затяжной пуск после 38 секунд. В результате суммарная пропускная способность существенно уменьшилась. Следовательно, для нормальной работы FTP с большим буфером TCP следует специально сконфигурировать другие параметры и ресурсы системы, такие как распределение памяти для дискового ввода/вывода и прерывание сетевого драйвера.

РИСУНОК 41

**График временной последовательности TCP**  
(Размер буфера TCP = 1 Мбайт)

1711-41

РИСУНОК 42

**График окна перегрузки TCP**  
(Размер буфера TCP = 1 Мбайт)

1711-42

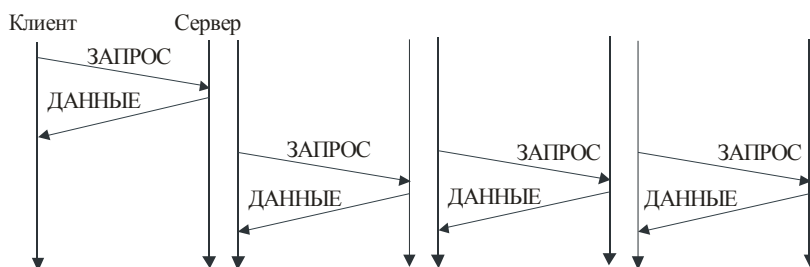
### 6.3 Пропускная способность HTTP на спутниковой линии ОС-3

#### 6.3.1 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 43 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 43

#### HTTP 1.0 – Временные соединения



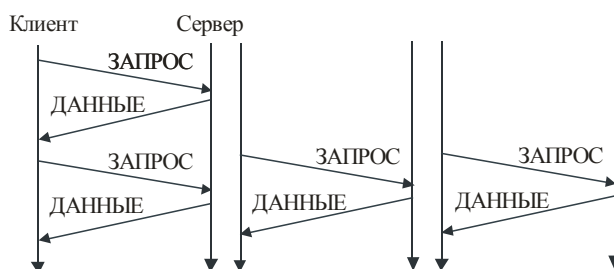
1711-43

#### 6.3.2 HTTP 1.0 с возможностью работы в "дежурном" режиме

Некоторые браузеры и сервера, 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 44 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 44

#### HTTP 1.0 – опция "дежурное соединение"



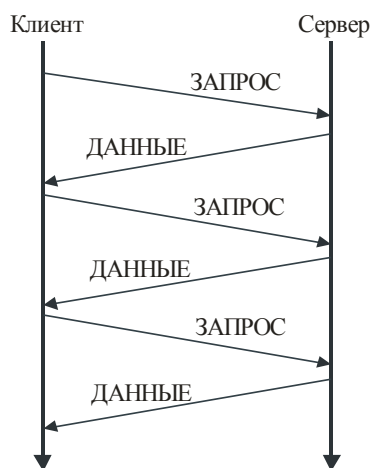
1711-44

#### 6.3.3 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 45 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 45  
**HTTP 1.1 без конвейерной работы**



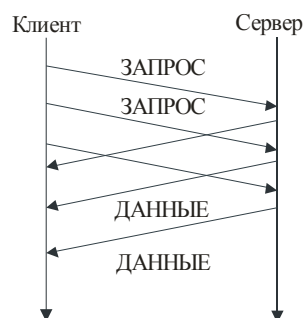
1711-45

### 6.3.4 HTTP 1.1 с конвейерной работой

HTTP 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 46 показано взаимодействие между клиентом и сервером, использующими HTTP 1.1 с конвейерной работой. По одному-единственному TCP соединению передаются и базовый документ, и три объекта.

РИСУНОК 46  
**HTTP 1.1 с конвейерной работой**



1711-46

### 6.3.5 Результаты испытаний

Основная цель состояла в том, чтобы измерить качественные показатели передачи веб-страницы по спутниковой сети с применением различных версий HTTP. В таблице 23 приведены результаты измерений работы HTTP в спутниковой сети для пяти веб-страниц. Когда использовался браузер Webbot, устанавливалось только одно TCP соединение (для HTTP 1.1 требуется только одно TCP соединение). Когда использовался браузер Netscape, число устанавливаемых TCP соединений соответствовало числу элементов, соединенных с веб-страницей. Когда использовалась версия HTTP 1.0, каждое TCP соединение было независимым от всех остальных. То есть каждое TCP соединение реализовывало свои механизмы затяжного пуска и предотвращения перегрузки. Когда использовалась версия HTTP 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 одно-

единственное (особенно, когда размер элементов невелик). Однако существует и множество негативных аспектов (например, большая нагрузка на сервер, перегрузка сети из-за передачи большего числа пакетов) использования множества одновременно действующих соединений.

ТАБЛИЦА 23

## Качественные показатели для HTTP передачи

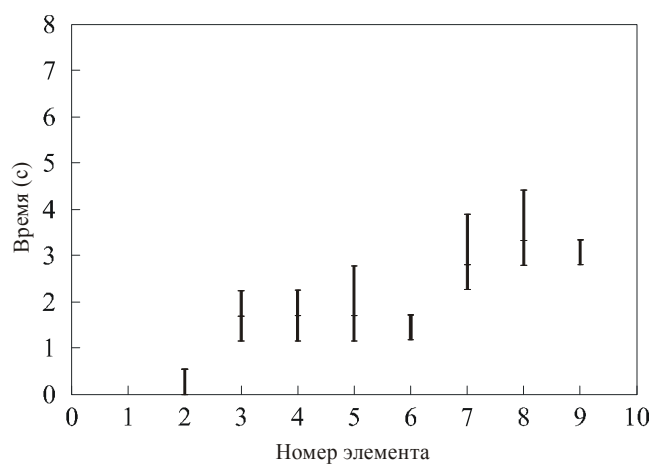
Веб-страница	Веб-браузер	Число TCP соединений	Число пакетов	Общее время отклика (с)	Средняя пропускная способность (бит/с)
China2008 (30 объектов, 212 207 байтов)	Netscape 4.77	41	655	14,764	14 373
	Webbot без конвейерной работы	1	306	21,158	10 030
	Webbot с конвейерной работой	1	318	4,363	48 638
CRL (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.

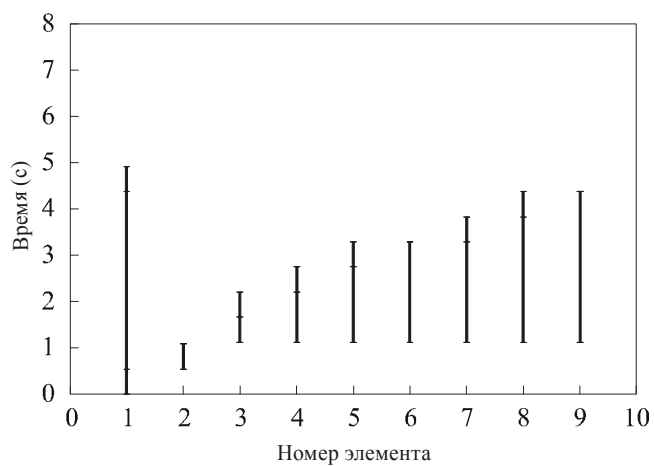
На рисунке 47 показана последовательность запросов на поиск и передачу страницы RBLAB (семь элементов). Элемент 1 на рисунках 47b) и 47с) представляет собой время полной передачи базовой страницы и связанных с ней объектов. Другие элементы отображают время передачи каждого объекта. Элемент 2 – первый 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 47a)), 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 47

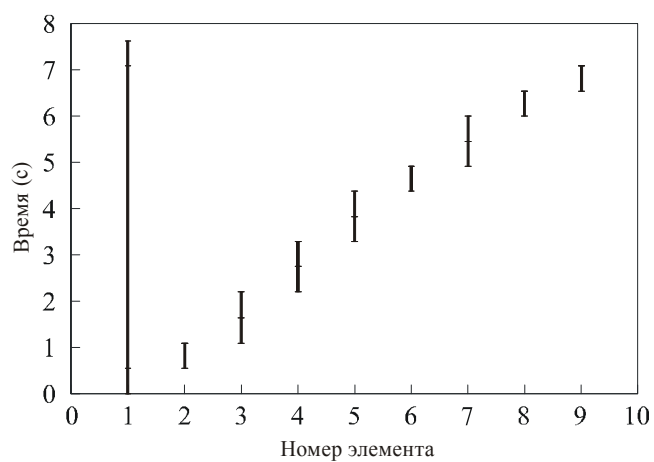
## График передачи веб-страницы RBLAB и ее элементов



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.

#### 6.4 Выводы

Максимальная пропускная способность для FTP была получена равной примерно 3 Мбит/с при размере ТСП окна 1 Мбайт. Когда размер ТСП окна превышал 1 Мбайт, пропускная способность ухудшалась. В случае передачи типа "память-память" по спутниковому каналу, пропускная способность зависит, главным образом, от размера ТСП окна. Увеличение размера буфера ТСП для повышения пропускной способности ТСП 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.

#### 7 Заключение

Результаты различных испытаний и измерений, представленные в данном Приложении, представляют собой руководящие указания для разработки улучшения качественных показателей ТСП в зависимости от конфигурации спутниковой сети.

При разработке спутниковой сети особое значение имеют следующие результаты:

- пропускная способность ТСП не изменится, если КОБ спутниковой линии будет лучше, чем  $10^{-7}$  (см. п. 2);
- методы разделения могут улучшить пропускную способность трафика спутниковых линий на основе ТСП (см. п. 2, 3 и 5);
- применение только кэширования не улучшает эффективность качественных показателей в случае с веб-сайтами на основе движущихся изображений или текстовой основе и улучшает в любом случае, если применяется вместе со спуфингом (см. п. 3);
- использование больших окон ТСП в спутниковых линиях увеличивает пропускную способность до примерно 90% от теоретического максимума. Но большие ТСП окна генерируют импульсный трафик, который в свою очередь, приводит к потере пакетов на промежуточном маршрутизаторе из-за буфера насыщения (см. п. 4);
- реализация механизма управления трафиком на источнике сигнала ТСП в результате может привести к пропускной способности около 95% от пропускной способности, которая будет достигнута без задержки на спутниковой линии (см. п. 4);
- Увеличение размера буфера ТСП повышает пропускную способность ТСП, но в свою очередь может ухудшить качественные показатели прикладного уровня, затрагивая диск ввода/вывода или распределение системной памяти (см. п. 6);
- в сетях, использующих спутниковые линии, версия НТТР 1.1 с опцией конвейерной работы обеспечивает лучшие качественные показатели с точки зрения пропускной способности (см. п. 6).