

УДК 621.391

АНАЛИЗ ЗАДЕРЖЕК ОБРАБОТКИ СООБЩЕНИЙ ПРОТОКОЛА SIP-I В ОБОРУДОВАНИИ IBC

В.А. Ефимушкин, заместитель генерального директора ФГУП ЦНИИС, к.ф.-м.н.; ef@zniis.ru

И.В. Углов, эксперт департамента сервисных и фиксированных сетей ОАО «Мобильные ТелеСистемы»; ivan.v.uglov@gmail.com

Ключевые слова: протокол SIP-I, IBC, сигнальное сообщение, измерение задержки.

Введение. Задержка передачи информации по сети связи — один из ключевых показателей, по которому можно делать выводы о качестве функционирования сети и предоставляемых услуг. Для операторов конвергентных сетей, предоставляющих услуги телефонной связи, вопрос обеспечения приемлемых задержек наиболее критичен. В отличие от трафика Интернета, пользовательский и сигнальный трафики в сетях операторов должны соответствовать нормам на ряд показателей, несоблюдение которых приводит как к искажению передаваемой аудио и/или видеoinформации, так и к снижению уровня качества, воспринимаемого пользователями (Quality of experience — QoE) услуг [1].

Одним из важных показателей качества услуг телефонной связи в конвергентных сетях является время установления соединения. В случае возникновения задержек, превышающих допустимые при передаче сигнального трафика по сети, возможны проблемы с установлением сессий, например, аварийное прерывание, «зависание» и др., что существенным образом влияет на QoE.

Задержка передачи сигнального сообщения складывается из задержек передачи по каналам связи и обработки в оборудовании. Характеристики трафика сетей передачи данных, так же как и задержки пакетов в сети одного оператора достаточно хорошо изучены [2–5].

В данной работе остановимся на анализе задержек в оборудовании, обеспечивающем межоператорские стыки. Их вклад в общую задержку сигнального трафика может быть существенным.

VoIP-стык на базе SBC. С развитием конвергентных сетей большую озабоченность вызывает обеспечение необходимого качества передачи голосовой

и видеoinформации по протоколу IP, которое зависит от организации межоператорских стыков для обмена трафиком. Длительное время решение данного вопроса нормативно было закрыто для операторов связи России. Однако вопрос организации межоператорских стыков требует тщательной проработки: от его решения зависит оптимальная возможность пакетной передачи без ухудшения качества, поскольку преобразование пакетов в информационные потоки коммутации каналов и обратно происходит на межоператорских стыках пакетных сетей.

Стандартным решением для организации межоператорского стыка магистральных IP-сетей двух операторов является использование пограничного контроллера сессий (Session Border Controller — SBC) [6], который в технической спецификации ETSI [7] разделен на два логических элемента:

- контроллер пограничных взаимодействий (Interconnection Border Control — IBC);

- транзитный шлюз (Transition Gateway — TrGW).

Элемент IBC выполняет часть функций SBC, связанных с обработкой сигнальной информации, а TrGW — с обработкой потоков пользовательского трафика.

Приводимый далее анализ задержек на IBC основан на исследовании пакетных трассировок в процессе функционирования VoIP-стыка на базе SBC крупного российского оператора связи. Стык, реализованный на оборудовании IBC, использует протокол сигнализации SIP-I, являющийся модификацией протокола SIP с возможностью инкапсуляции сообщений ISUP в соответствии с Рек. МСЭ-Т Q.1912.5 [8].

Для формирования массивов статистических данных и их последующей обработки были решены следующие частные задачи:

- считывание и запись трафика с сетевых интерфейсов IBC с обеспечением временной синхронизации запи-

сывающих устройств и высокой точности синхронизации (для достижения пренебрежимо малых погрешностей временных меток регистрации пакетов по сравнению с задержкой обработки этих пакетов в оборудовании);

- автоматическая архивация и буферизация в удаленном накопителе данных, проходящих через IBC за время измерений (представляет особые сложности за счет больших объемов, достигающих нескольких терабайт);

- обеспечение идентификации сообщений SIP до и после прохождения через IBC (осложняется отсутствием в протоколе SIP-идентификатора сообщения; имеется лишь идентификатор сессии).

В рамках экспериментов была создана система сбора информации, позволившая решить две первые задачи, причем для «зеркалирования» трафика использовались функциональные возможности коммутаторов уровня L2 [9] и дублирование потоков информации с портов в сторону IBC. Задержка при прохождении через оборудование IBC рассчитывалась путем вычисления разности между временными метками регистрации пакета на входе и выходе. Была собрана и проанализирована информация о сигнальном трафике за период более 20 суток (более 70 млн сообщений), при этом расчеты производились для 11 типов сообщений SIP-I.

Измерение задержек. Для реализации системы считывания трафика на входящих и выходящих интерфейсах IBC была разработана пассивная система мониторинга [10] с использованием «зеркалирования» трафика на ближайших к IBC коммутаторах уровня L2 (рис. 1).

Во время экспериментов нагрузка на L2-коммутаторы не превышала 40% от максимальной расчетной пропускной способности, что гарантировало отсутствие существенного влияния процедур измерений на исследуемые величины. Для подтверждения этого на L2-коммутаторах делались тестовые за-

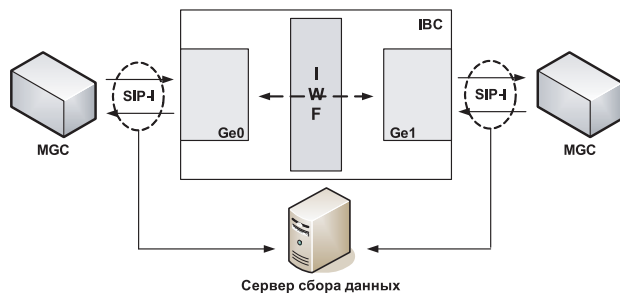


Рис. 1

меры задержек передачи пакетов в часы наибольшей нагрузки. Их значения при передаче пакетов с аналогичными SIP-I требованиями к качеству обслуживания составили порядка 10 мкс, что приблизительно на два порядка меньше суммарной задержки. Таким образом, влияние измерений на L2-коммутаторах оказалось незначительным.

Анализ объемов сигнального трафика, проходящего через IBC, и производительности сетевых интерфейсных карт, сделанный на основании отчета компании ENDACE [14], показал, что для захвата данных можно использовать стандартные сетевые интерфейсные карты [11], установленные на сервере сбора данных. В рамках экспериментов были собраны все сообщения протокола SIP-I, прошедшие через IBC за 20 суток. Обработка данных и их анализ производились отдельно от процесса сбора (по его завершении).

Для обеспечения временной синхронизации сбор данных производился на одном сервере, оборудованном двумя сетевыми интерфейсными платами для записи трафика с обоих интерфейсов IBC. Таким образом, задача была решена без применения специальных средств.

Автоматическая архивация и буферизация были организованы стандарт-

ными средствами ОС Linux на сервере сбора данных с помощью специально разработанных shell-скриптов и создания удаленного хранилища.

Сбор данных был схож с процессом, описанным в [5]. Интерфейсы на сервере сбора данных (на них заводились потоки от IBC) были переведены в режим захвата трафика (promiscuous mode). На основе стандартной утилиты ОС Linux для захвата трафика (tcpdump) была организована запись данных в формате libpcap, причем пакеты данных записывались полностью, что было необходимо для последующего анализа.

Для получения информации о времени пребывания в IBC некоторого сообщения, зарегистрированного на входе и выходе устройства, использовались временные метки T_1 и T_2 . Время пребывания сообщения с номером n в IBC рассчитывалось путем вычисления абсолютной (поскольку направление прохождения сообщения не учитывалось) разницы между метками: $d(n)=|T_1-T_2|$.

За время сбора статистических данных на оборудовании IBC не производилось изменений конфигурации, переустановки программного обеспечения или замены составных частей оборудования, а также изменений маршрутизации на MGС (рис. 1), которые

могли бы повлиять на характеристики трафика: объем, структуру сообщений SIP-I.

Далее для простоты будем полагать, что все пакеты поступают на интерфейс Ge_0 , а выходят с интерфейса Ge_1 (рис. 1). Это предположение не влияет на получаемые результаты, но заметно облегчает изложение методики вычислений. По завершении сбора данных и предварительной фильтрации из файлов трассировок были извлечены и классифицированы для исследования данные по 11 типам сообщений (табл. 1, где $T=\{1,2,\dots,11\}$ – множество значений типов сообщений, $t \in T$).

Одной из основных проблем, с которой пришлось столкнуться в рамках эксперимента – обеспечение однозначной идентификации пакета после его прохождения через IBC. К сожалению, методы идентификации по хэш-сумме на основе CRC алгоритмов [5], которые широко используются для идентификации пакета после их прохождения через оборудование уровней L2 или L3, в данном случае не применимы. Это объясняется тем, что одной из основных функций IBC (активного устройства уровня L7) является маскирование топологии сети путем изменения заголовков SIP-I сообщения (как и заголовков уровней L3 и L4). Таким образом, сами данные (сообщения SIP-I) будут меняться в процессе прохождения через IBC, следовательно, циклические суммы по заголовкам или их частям уровней L2-L4 будут также изменяться.

Для решения этой проблемы была применена идентификация по полям сообщения протокола SIP-I, которые не подлежат изменению на IBC, например, по идентификатору сессии, номеру сообщения в транзакции и типу сообщения. Для однозначной идентификации использовались поля Call-ID, sip.CSeq.seq, sip.CSeq.method, sip.method, sip.StatusCode, isup.message type. По последним трем полям также определялся тип сообщения из списка в табл. 1.

По совпадению вышеперечисленных полей производилась первоначальная фильтрация сообщений из трассировок, после чего – дополнительная фильтрация с отбраковкой дублированных сообщений. Ситуации с дублированием могут возникать довольно часто, если устройство-получатель сообщения никак не реагирует на поступивший запрос, либо же реагирует с большой задержкой (рис. 2). В этом случае на передающем устройстве сра-

Таблица 1

t	Тип сообщения SIP	Тип вложения ISUP	Количество сообщений, млн
1	INVITE	IAM	20,1
2	BYE	REL	4,4
3	200OK	RLC	4,5
4	183	ACM	13,0
5	183	CPG	3,3
6	180	CPG	2,2
7	180	ACM	1,9
8	200OK	ANM	4,5
9	ACK	-	21,4
10	INVITE	-	1,4
11	200OK	-	5,8



Рис. 2

батывает таймер, запускающий повторную передачу сообщения, на которое не получено ответа. Повторные попытки будут продолжаться до достижения заданного максимального числа.

Проблема состоит в том, что повторное сообщение идентично первому, но для него не существует входящего сообщения. В расчетах необходимо учитывать только задержку при обработке, но никак не задержку при повторной передаче, определяемую фиксированным таймером в настройках IBC.

Технически процесс идентификации был реализован путем составления таблиц с данными о сообщениях SIP-I, зарегистрированных на интерфейсе Ge0, и данными на интерфейсе Ge1. В строке каждой таблицы фиксировались параметры сообщения и время его регистрации с точностью до 1 нс. Для определения соответствия между данными о сообщениях двух таблиц последовательно просматривалась первая с поиском соответствия по перечисленным выше полям во второй таблице. Поскольку запись на обоих интерфейсах начиналась одновременно, было сделано предположение о том, что транслированное IBC-сообщение появится на интерфейсе Ge1 с порядковым номером, близким по значению к номеру, под которым оно зарегистрировано на интерфейсе Ge0.

Таким образом, поиск сообщения с порядковым номером N из первой таблицы начинался во второй таблице со строки с тем же порядковым номером N . Глубина поиска изменялась динамически в зависимости от количества сообщений в единицу времени и требовала не менее 20 с до и после времени регистрации сообщения в строке с порядковым номером N второй таблицы.

Анализ задержек. Ниже приводятся результаты анализа данных по задержкам на IBC, распределение вероятностей задержек при обработке сообщений в оборудовании IBC. Кроме того, проанализированы факторы, оказывающие влияние на возникновение и величину задержек.

Общие положения. Обозначим n -е по порядку сообщение, зарегистриро-

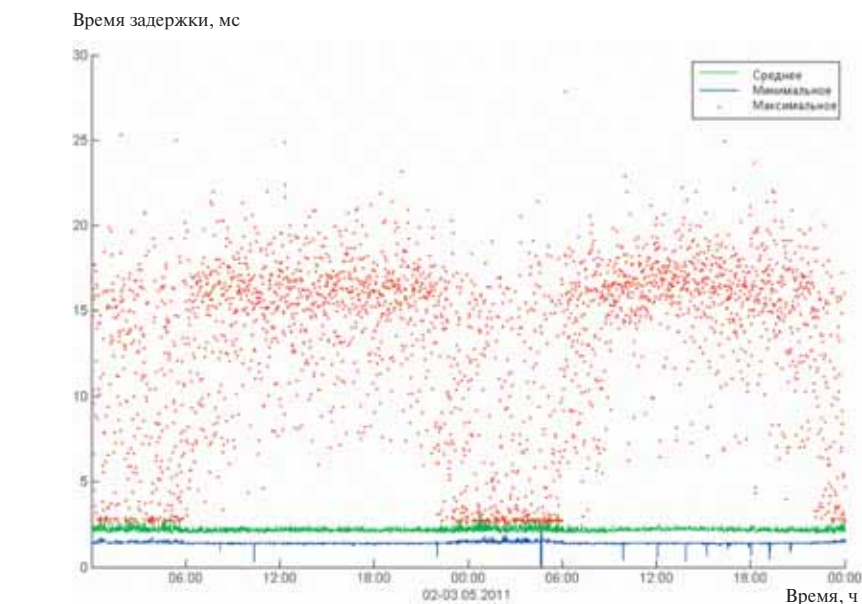


Рис. 3

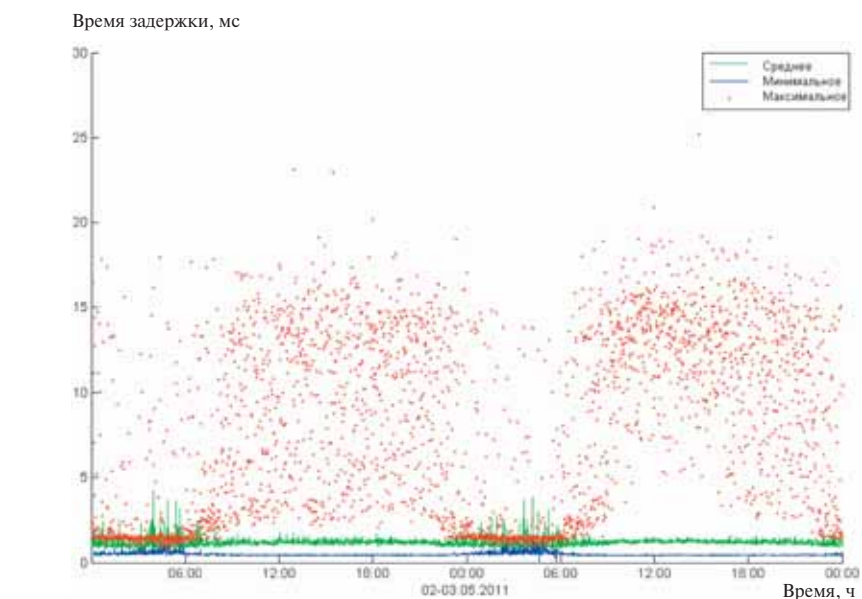


Рис. 4

ванное в первой таблице и найденное во второй, как сообщение n . Общее количество рассматриваемых сообщений обозначим M . Сообщения, найденные в первой таблице и не обнаруженные во второй, не рассматривались. На рис. 3 и 4 представлены графики зависимости среднего, минимального и максимального значений задержки $d(n)$ за двое суток с временным шагом в 1 мин. Для примера на рис. 3 и 4 взяты сообщения типа 1 и 2, соответственно.

Минимальные значения задержки соответствуют минимальному времени, затрачиваемому на прохождение через IBC. Минимум задержки соответствует прохождению сообщения через IBC без ожидания в очереди, а средние значения – среднему времени ожидания сообщением в очереди и обработки. Мак-

симальные значения задержки имеют наибольшую дисперсию, по сравнению с минимальными и средними, и достигают 25–28 мс.

Для различных типов сообщений характер возникновения задержек отличается, свидетельствуя о разных механизмах их обработки. Отсюда можно сделать вывод: при построении математической модели функционирования IBC в виде системы массового обслуживания следует рассматривать систему с несколькими типами заявок с различными распределениями длительностей их обслуживания.

Детальный анализ характера задержек на IBC. Как следует из рис. 3 и 4, значения задержек сильно различаются в зависимости от времени суток. Учитывая этот факт, будем рассматривать

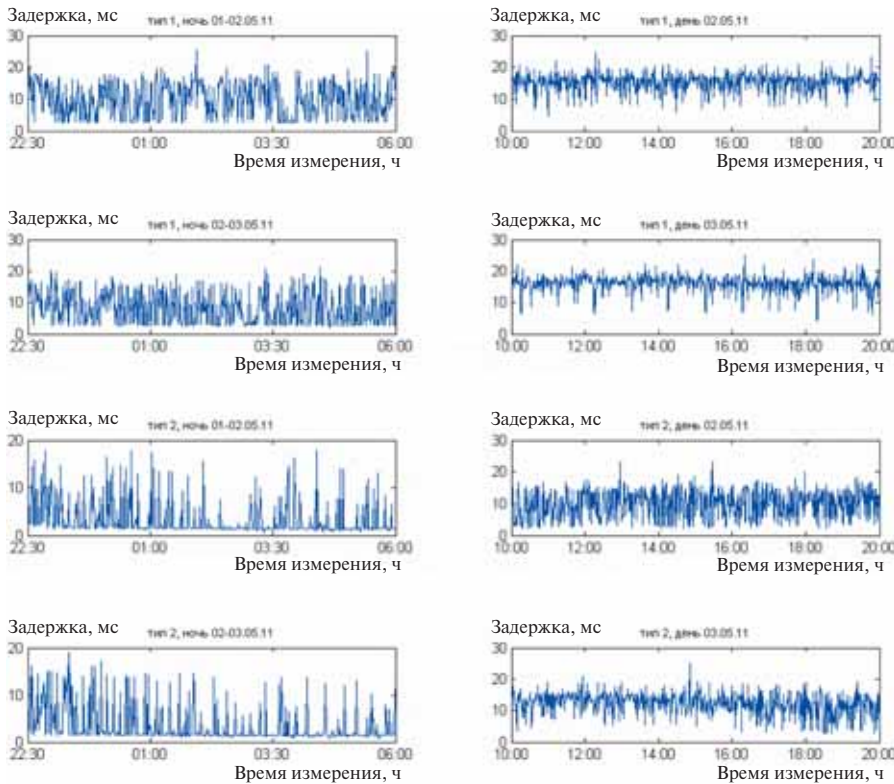


Рис. 5

задержки в «ночные» (22:30–6:00) и «дневные» (10:00–20:00) часы, когда характер задержек существенно отличается. Обозначим i -й набор задержек в «дневное» время DAY_i и в «ночное» – $NIGHT_i$. Рассматривая статистические данные за 20 дней, получаем в качестве исходных данных задержки обработки сообщений в оборудовании ИВС DAY_i , $NIGHT_i$, $i = 1, 20$. Примеры «дневных» и «ночных» наборов максимальных значений задержек на ИВС для сообщений типов 1 и 2 с шагом 1 мин представлены на рис. 5.

Рассмотрим функцию плотности распределения задержки $d(n)$ на ИВС. На рис. 6 представлен соответствующий график для сообщений типов 1 (а) и 2 (б) с учетом времени суток.

Из построенных графиков видно, что форма распределения практически не отличается для дневных и ночных реализаций процессов.

Влияние пропускной способности сетевых интерфейсов ИВС на задержку. Оценим влияние скорости работы интерфейсов ИВС на задержку обработки сообщений. Заметим, что для устройств уровней L2 и L3 задержки на сетевых интерфейсах могут вносить ощутимый вклад в формирование суммарной задержки на устройстве [5, 9]. Оценим максимальную задержку, вносимую двумя (входным и выходным)

интерфейсами ИВС.

Современные устройства ИВС оборудованы сетевыми интерфейсными модулями, работающими на скорости не менее 1 Гбит/с. Приняв за размер кадра максимально возможный в сети Ethernet кадр в 1518 байт [12], получаем, что максимально возможная задержка, вносимая двумя сетевыми интерфейсами Ethernet 1 Гбит/с, должна быть не более $2 \cdot 1518 \cdot 8 / 10^9 = 2,42 \cdot 10^{-5}$ с, что на два порядка меньше минимально

возможной суммарной задержки при обработке сообщения на ИВС. Поэтому, в виду малости влияния, задержка на сетевых интерфейсах далее не учитывается.

Зависимость задержки от размера обрабатываемого сообщения и его типа. Рассмотрим (рис. 7) плотность распределения возникновения сообщения одного типа в зависимости от его размера на примере сообщений типа 1 (а) и 2 (б).

Наличие нескольких максимумов в распределении можно объяснить различиями в формировании заголовков SIP-пакета разными типами оборудования (в частности, полей Call-ID и Request-URI). В общем случае для других типов сообщений картина не всегда настолько очевидна, а максимумы распределения могут быть сильнее разнесены по оси ординат, т.е. размер пакетов одного и того же типа может сильно различаться. Такая ситуация объясняется наличием (или отсутствием) в некоторых сообщениях вложений SDP [13]. В рамках этой статьи фильтрация и последующая классификация по данному признаку не используется (табл. 1).

Рассмотрим зависимости значений минимальной задержки при обработке сообщения от его размера l и типа t (согласно табл. 1). Для построения зависимостей данные измерений, полученные в течение 20 дней, разобьем на временные участки τ_i , $i = 1, 80$, длительностью по 6 часов, называемые далее также реализациями. Для каждого участка τ_i , $i = 1, 80$, получим

$$d_{\min}(l, t) = \min_{n \in \tau_i} \{d(n)\}, l \in L, t \in T,$$

где l – множество возможных размеров для типа t . Объединим данные для каждого $l \in L$ и фиксированного $t \in T$. Тогда для каждого сообщения типа t и размера l получим 80 значений $d_{\min}(l, t)$. По объединенным данным построим минимальные и максимальные значения $d_{\min}(l, t)$ – зеленые линии на рис. 8 (тип 1 – а, тип 2 – б). Коридор значений от 5 до 95 % показан на рис. 8 синими линиями.

Как видно на рис. 8, сообщения из коридора 5–95% хорошо укладываются на одну прямую, причем его ширина редко превышает 1,5–2 мс. Сильные выбросы, указывающие на большую разницу между минимумами, можно объяснить малым количеством сообщений с таким l (хорошо видно из сравнения рис. 7 и 8).

Проводя подобные вычисления для сообщений других типов, можно полу-

Таблица 2

Тип сообщения t	$\frac{d(l, t) \in [d_{2,down}(l); d_{2,up}(l)], \forall l \in L}{d(l, t), \forall l \in L} \cdot 100\%$
1	91,9
3	83,8
4	78,8
12	92,9

Таблица 3

Тип сообщения t	$\frac{d(l, t) \in [d_{2,down}(l); d_{2,up}(l)], l \in L}{d(l, t), \forall l \in L} \cdot 100\%$
2	82,5
5	70,8
6	76,2
7	81,9
8	62,2

чить данные о зависимостях задержек от типа и размера. Интересные выводы следуют из аналогичных зависимостей для всех исследуемых типов сообщений на одном графике (рис. 9).

При детальном рассмотрении рис. 9 можно выделить три группы сообщений: 1) типы 1, 3, 4, 10; 2) типы 2, 5, 6, 7, 8; 3) типы 9, 11. Сообщения из первой и второй групп достаточно хорошо описываются линейными зависимостями, третья группа не укладывается в общую картину в виду большого разброса значений $d_{\min}(l, t)$ для различных $l \in L$.

Для первых двух групп сообщений были рассчитаны границы коридоров, в которые с заданной долей вероятности попадают значения $d_{\min}(l, t)$. Коридоры описываются следующими системами линейных уравнений для первой и второй групп сообщений, соответственно:

$$\begin{cases} d_{1,up}(l) = 0,95 + 0,0016l; \\ d_{1,down}(l) = 0,25 + 0,011l, \end{cases}$$

$$\begin{cases} d_{2,up}(l) = 0,95 + 8,16 \cdot 10^{-4}l; \\ d_{2,down}(l) = -0,12 + 7,34 \cdot 10^{-4}l. \end{cases}$$

Для рассматриваемых размеров пакетов правая часть нижнего уравнения является положительной.

Проверка процентного соотношения количества сообщений в границах коридора на всей совокупности $\{d(l) | l \in L\}$ для каждого из типов дала результаты, представленные в табл. 2 для первой группы сообщений, и в табл. 3 — для второй. Анализ совокупности данных по всем типам показал, что задержка обработки на IBC 95% пакетов не превышает 12,6 мс.

Третья группа сообщений включает два типа 9 и 11 — это сообщения 200 ОК и АСК. Как видно на рис. 9, часть сообщений этого типа не укладывается в общую картину — задержки не соответствуют основному тренду. Первичный анализ трассировок позволил выяснить, что сообщения именно этого типа и с заданным объемом возникают:

- для типа 9 — только при неуспешном завершении вызова с кодом ошибки 4х или 5х;
- для типа 11 — только в случае попытки завершения вызова ответом на CANCEL.

В виду того, что такие сообщения возникают крайне редко и появляются обычно при нарушениях в процессе соединения, анализ процессов, связанных с подобными ситуациями, остается за рамками данной статьи. Однако стоит заметить, что в таких случаях задерж-

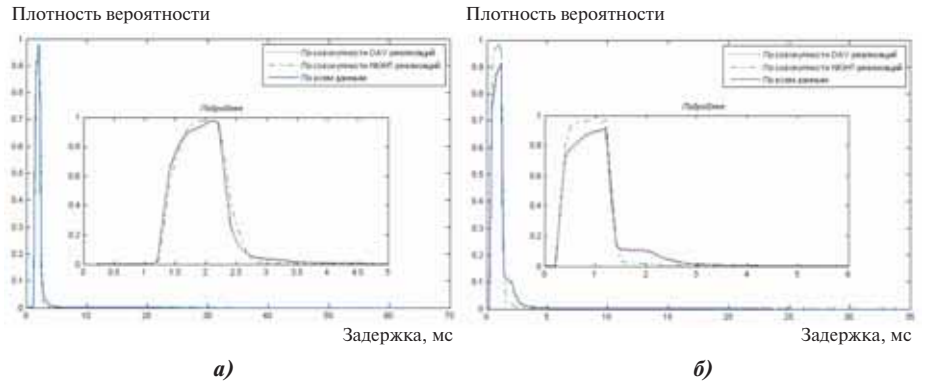


Рис. 6

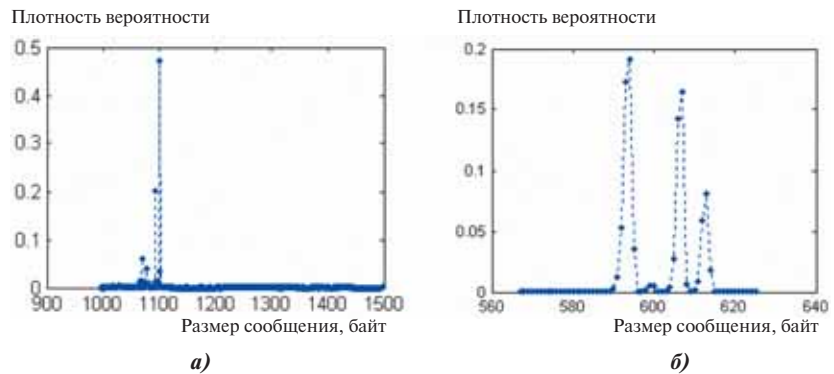


Рис. 7

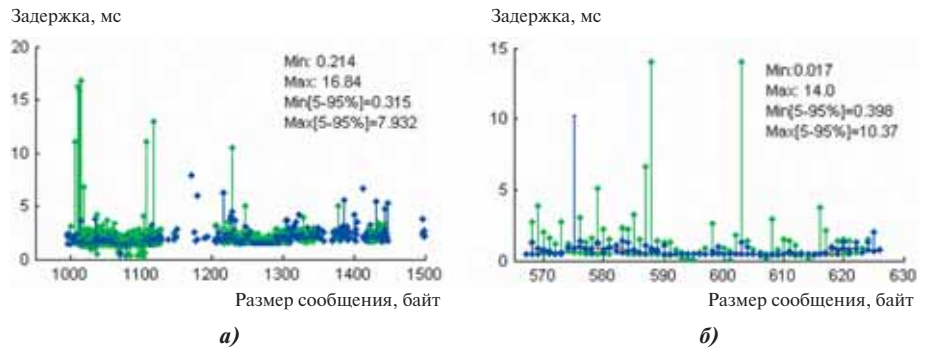


Рис. 8

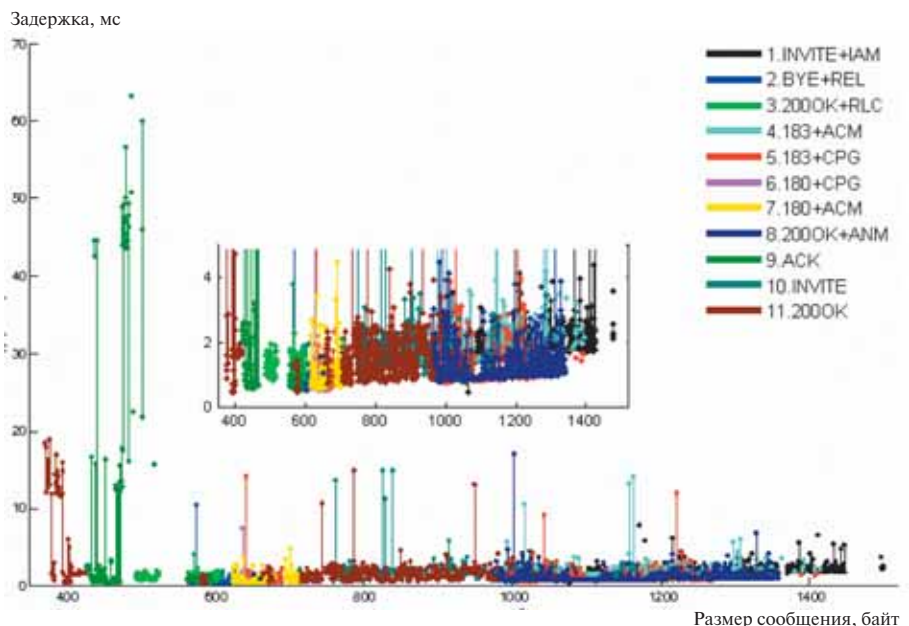
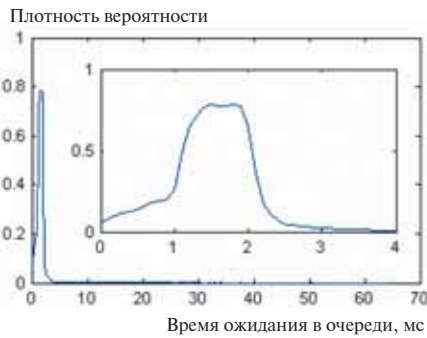


Рис. 9

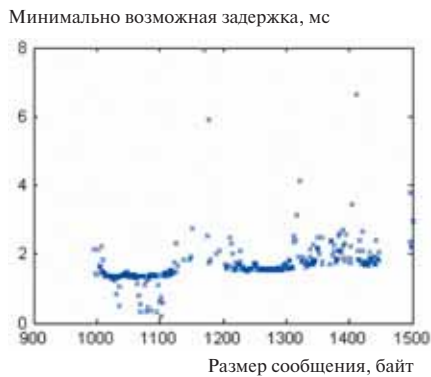


а)



б)

Рис. 10



а)



б)

Рис. 11

Процент сообщений,
задержка для которых меньше порога

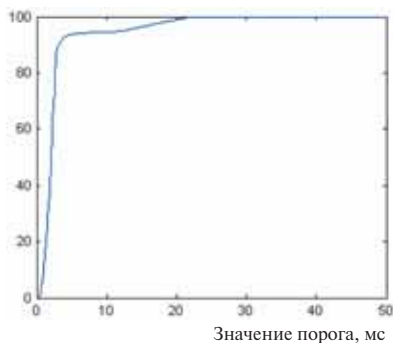


Рис. 12

ка при обработке сообщений увеличивается приблизительно на порядок.

Задержка ожидания сообщения в очереди на обработку. Определим характер и величину задержки ожидания сообщением обработки в буферной памяти ИВС.

В моменты малой нагрузки сообщения могут попадать на центральный процессор без ожидания в очереди, при этом для сообщения типа t и размера l минимально возможная задержка равна времени обработки ИВС сообщения:

$$d_{\min}(l, t) = \min_{1 \leq m \leq M} \{d(m) | l = l_m, t = t_m\},$$

$$l_m \in L, t_m \in T,$$

Естественно полагать, что время обработки сообщения не зависит от на-

грузки на ИВС. Основываясь на данном допущении, можно определить время ожидания в очереди сообщения n типа t с размером l как

$$d_{\text{wait}}(n) = d(n) - d_{\min}(l_n, t_n),$$

где l_n и t_n — размер и тип сообщения n , соответственно. По полученным данным построим зависимости $d_{\min}(l, t)$ и плотности распределения возникновения d_{wait} . Результаты для сообщений типов 1 (а) и 2 (б) приведены на рис. 10.

На рис. 11 показана зависимость минимальной задержки от размера сообщения для типа 1 (а) и 2 (б). Из рис. 10 и 11 видно, что максимумы для плотности распределения d_{wait} смещены относительно максимумов плотности распределения $d(n)$. Для сообщений других типов, характер влияния времени ожидания в очереди существенно не отличается от приведенных примеров. Смещения максимума плотности распределения можно оценить по формулам для нижней границы коридора.

Приведем результаты анализа совокупности данных по задержкам сообщений усреднено по всем типам. Рассмотрим зависимость процентного отношения количества сообщений, задержка при обработке которых не превысила заданный порог, от величины порога (рис. 12). Отметим, что 93,0%

всех значений временных задержек находится под порогом 4,2 мс, 95,0% — под порогом 12,6 мс и 99,9% — под порогом 22,3 мс.

Заключение. Развитие конвергентных сетей, необходимость обеспечения требуемого качества обслуживания при взаимодействии функциональных узлов сетей различных операторов, в том числе конвергентных, при предоставлении инфокоммуникационных услуг требуют понимания механизмов и факторов влияния на характеристики качества функционирования сетевых элементов [15].

Насколько известно авторам, данная работа является первым исследованием в области изучения задержек при обработке сообщений протокола SIP-I на оборудовании ИВС. Исследование проведено для 11 типов сообщений, результаты по исследованиям двух типов детально представлены в настоящей статье. Данные измерений получены на межоператорском стыке VoIP на базе ИВС без преобразования пакетов в информационные потоки коммутации каналов.

В процессе анализа установлены зависимости задержки обработки сообщения от его размера и типа. В частности, на основе совокупности измерений установлено, что 93% пакетов обрабатываются на ИВС с временной задержкой, не превышающей 4,2 мс.

ЛИТЕРАТУРА

1. Recommendation ITU-T G.107. The E-model, a computational model for use in transmission planning. — 2000.
2. Leland W., Taqqu M., Willinger W., Wilson D. On the self-similar nature of Ethernet traffic // IEEE/ACM Trans. on Networking. — 1994. — Vol.2, №.1. — P. 1–15.
3. Norros I. On the use of fractional brownian motion in the theory of connectionless networks // IEEE J. on Selected Areas in Comm. — 1995. — Vol.13, №.6. — P. 953–962.
4. Erramilli A., Narayan O., Willinger W. Experimental queuing analysis with long-range dependent packet traffic // IEEE/ACM Transaction on Networking. — 1996. — Vol.4, №2. — P. 209–223.
5. Diot C., Fraleigh C., Moon S. et al. Measurement and Analysis of Single-Hop Delay on an IP Backbone Network // IEEE J. on Selected Areas in Comm. — 2003. — Vol.21, №6. — P. 908–921.
6. Recommendation ITU-T Y.2174. Distributed RACF architecture for MPLS networks / 2008-06.
7. Technical specification ETSI TS 23.228 V10.5.0 Rel.10. IP Multimedia Subsystem (IMS). Stage 2 / 2011-06.