

УДК 621.391

О.А. ЯНИНА

*Одесская национальная академия связи им. А.С. Попова, Украина***МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТУННЕЛИРОВАНИЯ ГОЛОСОВОЙ НАГРУЗКИ С АГРЕГАЦИЕЙ СЕССИЙ И КОМПРЕССИЕЙ ЗАГОЛОВКОВ**

*В работе разработана математическая модель туннеля, построенного на базе предложенного автором механизма минимизации служебной информации при туннелировании IP-нагрузки. В основу модели положены принципы теории массового обслуживания, а также сведения о структуре служебных заголовков соответствующего телекоммуникационного протокола. Модель включает ряд аналитических выражений, связывающих между собой базовые характеристики туннелирования IP-нагрузки. При помощи модели рассмотрена одна из наиболее интересных, с точки зрения обеспечения качества обслуживания, зависимостей – зависимость «коэффициента эффективности» от времени агрегации.*

**Ключевые слова:** математическое моделирование, сжатие голосовой нагрузки, IP-телефония, протокольная избыточность, время агрегации.

В основу процесса эволюции телекоммуникационных сетей, как правило, положен принцип экономической целесообразности. Желание максимально эффективно использовать вложенные в строительство инвестиции заставляет владельцев сетей постоянно искать пути более оптимального использования имеющихся канальных ресурсов при соблюдении необходимого уровня качества обслуживания. Вследствие стремительного развития IP-сетей в последние годы одним из наиболее популярных методов такой оптимизации стало применение технологий, которые позволяют минимизировать объемы передачи служебной информации и тем самым уменьшить размер протокольной избыточности. Особую остроту этот вопрос приобрел после широкого распространения технологий передачи мультимедийной (прежде всего, голосовой) информации через IP-сети, во время которой доля служебной нагрузки может превышать долю полезной нагрузки в несколько раз [1, 2].

В качестве одного из вариантов технологии минимизации служебной нагрузки при передаче голосовой информации через IP-сеть автором предложен способ [1, 3, 4], основанный на принципах сохранения информации о действующих контекстах RTP-сессий с применением процедуры агрегации пакетов из параллельных RTP-сессий. В предлагаемом способе эффект минимизации, прежде всего, достигается за счет внесения дополнительной задержки для некоторых RTP-сессий через промежуточную буферизацию голосовых фреймов на компрессоре (входной стороне IP-туннеля) с последующей пересылкой агрегированных пакетов через IP-сеть.

Понятно, что практическое применение этого

способа невозможно без реализации четких механизмов контроля за соблюдением качества обслуживания через регулирование предельных размеров дополнительной задержки, вносимой на входной стороне туннеля. Важным является определение оптимального соотношения между эффективностью работы предлагаемого способа и размером, указанной выше, дополнительной задержки.

С помощью, разработанной на стадии предыдущих исследований, имитационной модели [3] удалось исследовать влияние «времени агрегации» пакетов на «коэффициент эффективности», который определяет уровень минимизации служебной информации с помощью предлагаемого способа. Исследования показали, что эффективность использования предлагаемого механизма стремительно растет при увеличении «времени агрегации» до определенного предела, после которого «коэффициент эффективности» практически перестает зависеть от этого параметра.

*Целью статьи является разработка математической модели туннеля с агрегацией сессий и компрессией заголовков, которая позволит получить аналитические выражения, связывающие между собой базовые характеристики туннелирования IP-нагрузки.*

Процесс передачи голосовой информации через IP-туннель, организованный с использованием запатентованного способа, зависит от достаточно большого количества различных факторов. Все эти факторы можно условно разделить на две группы: внешние и внутренние. К внешним факторам следует отнести такие, на которые невозможно повлиять путем изменения алгоритмов или переменных параметров его работы. В свою очередь к внутренним

факторам относятся те, изменение которых можно контролировать и использовать для влияния на процесс передачи информации. Примерами внешних факторов можно считать параметры источника голосовой нагрузки (количество сессий, интенсивность поступления пакетов, входящие джиттер, задержка и т.д.), а также характеристики узлов и канала связи (вероятность потери или повреждения пакета, текущая загруженность узлов и т.п.). В любом случае процесс контроля за соблюдением заданного уровня качества обслуживания при передаче голо-

совой информации предусматривает поддержку системы (в данном случае туннеля с поддержкой предложенного способа) в стационарном состоянии за счет модификации внутренних факторов для компенсации непредвиденного изменения внешних.

Представленная на рис. 1 модель туннеля с агрегацией сессий и компрессией заголовков позволяет исследовать влияние внешних и внутренних факторов на процесс транспортировки голосовой нагрузки между её источниками и получателями через обычную IP-сеть.

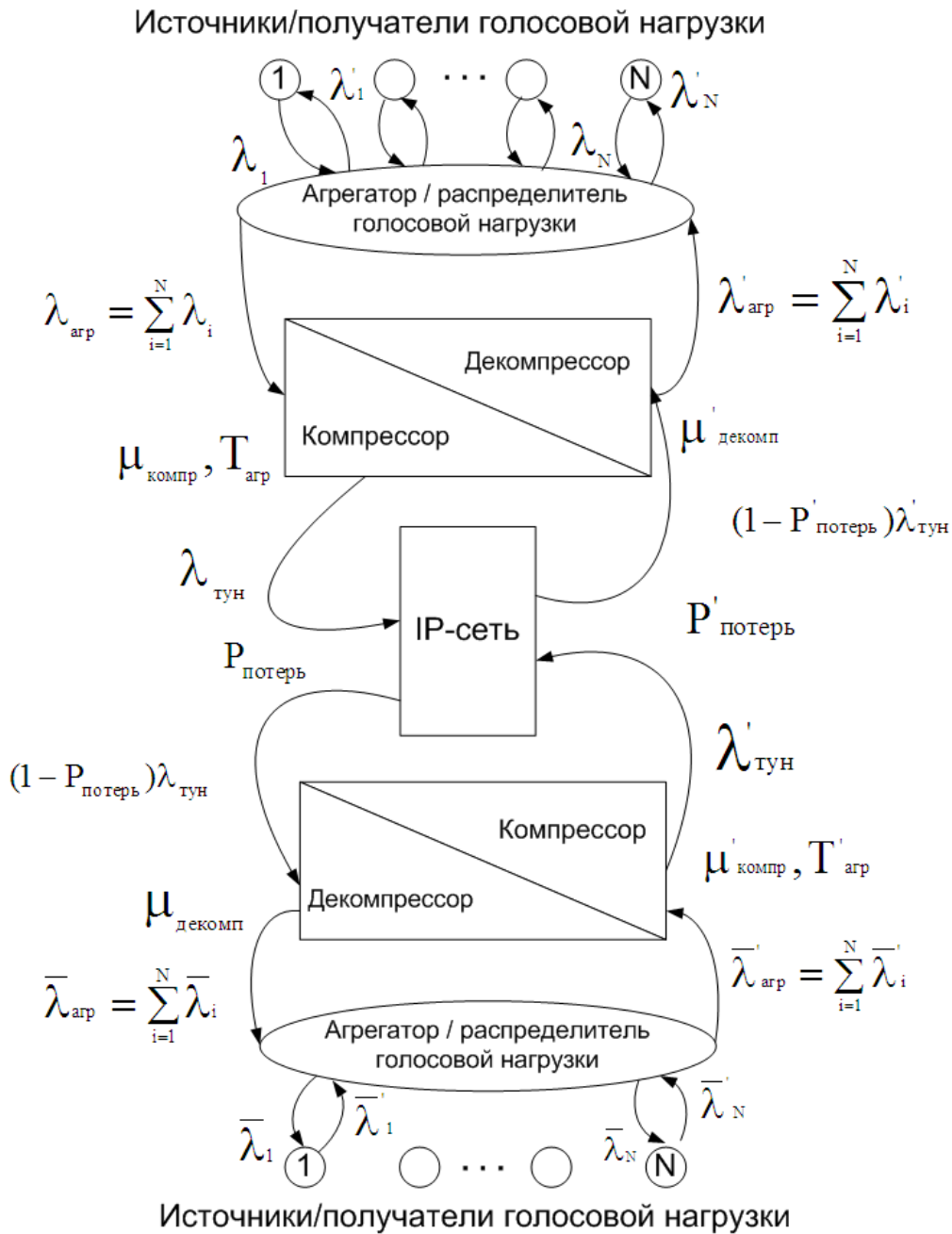


Рис. 1. Математическая модель туннеля

Как видно из модели, изображенной на рис. 1,  $N$  источников голосовой нагрузки (абонентских терминалов, шлюзов и т.п.) на протяжении одной сессии голосовой связи отправляют IP-пакеты к агрегатору голосовой нагрузки со средними интенсивностями  $\lambda_1, \lambda_N$ . Для упрощения расчетов будем считать, что в рамках одной сессии пакеты имеют детерминированный характер распределения времени поступления (пакеты поступают сразу от источников без прохождения промежуточных сегментов сети).

Агрегатор голосовой нагрузки (например, программный коммутатор IP-телефонии) осуществляет соединение пакетов из различных голосовых сессий в единый IP-поток со средней интенсивностью  $\lambda_{\text{агр}}$ . Сформированный агрегатором поток направляется на вход туннеля (компрессор), основными параметрами которого являются время агрегации  $T_{\text{агр}}$  и интенсивность обслуживания  $\mu_{\text{компр}}$ . Будем считать, что здесь и далее время обслуживания имеет экспоненциальный характер распределения.

Благодаря работе предложенного способа на выходе компрессора формируется поток агрегированных пакетов интенсивностью  $\lambda_{\text{тун}}$ , который передается через обычную IP-сеть, характеризующуюся (в нашем случае) только вероятностью потери пакета  $P_{\text{потерь}}$  в общем потоке между компрессором и декомпрессором.

Таким образом, на вход декомпрессора поступает модифицированный поток агрегированных IP-пакетов общей интенсивностью  $(1 - P_{\text{потерь}})\lambda_{\text{тун}}$ .

Основным параметром работы декомпрессора является интенсивность обслуживания  $\mu_{\text{декомп}}$ , а основным назначением – формирование потока обычных (неагрегированных) IP-пакетов интенсивностью  $\bar{\lambda}_{\text{агр}}$ , который, в дальнейшем, с помощью распределителя голосовой нагрузки (например, того же программного коммутатора IP-телефонии) делится на  $N$  независимых сессий голосовой связи со средними интенсивностями  $\bar{\lambda}_1, \bar{\lambda}_N$ .

В обратном направлении происходят такие же события, которые, однако, могут характеризоваться отличными параметрами  $\bar{\lambda}'_1, \bar{\lambda}'_N, \bar{\lambda}'_{\text{агр}}, \mu'_{\text{компр}}, T'_{\text{агр}}, \lambda'_{\text{тун}}, P'_{\text{потерь}}, \mu'_{\text{декомп}}, \lambda'_{\text{агр}}$  и  $\lambda'_1, \lambda'_N$  соответственно.

С точки зрения качества обслуживания наиболее важной для исследования (в рамках разработанной модели) является зависимость «коэффициента эффективности» от «времени агрегации». Понятие

«коэффициента эффективности» ( $K_{\text{эффект}}$ ) туннеля было введено в [1, 3], как отношение общего объема информации, передаваемой при туннелировании мультимедийной нагрузки с использованием классического «IP-IP» туннеля, к объему информации, передаваемой при туннелировании этой же нагрузки (с идентичными параметрами) с использованием предложенного способа [4]:

$$K_{\text{эффект}} = \frac{L_{\text{ірір}}}{L_{\text{таскз}}}, \quad (1)$$

где  $L_{\text{ірір}}$  – общий объем информации передаваемой при туннелировании мультимедийной нагрузки с использованием классического «IP-IP» туннеля, байт;

$L_{\text{таскз}}$  – общий объем информации, передаваемой при туннелировании подобной нагрузки с использованием ТАСКЗ, байт.

В простейшем случае объем  $L_{\text{ірір}}$  может быть вычислен, как произведение среднего количества пакетов ( $X_{\text{all}}$ ), которое будет передано через туннель за период времени  $\Delta T$  (при количестве источников  $N$  и средней интенсивности одного источника  $\lambda$ ) на общий размер одного пакета ( $S_{\text{ірір}}$ ) при схеме инкапсуляции «RTP-UDP-IP-IP»:

$$L_{\text{ірір}} = X_{\text{all}} S_{\text{ірір}}, \quad (2)$$

где  $X_{\text{all}} = N\lambda\Delta T(1 + P_{\text{потерь}})$  – в условиях повторной передачи через туннель каждого потерянного с вероятностью  $P_{\text{потерь}}$  пакета.

В свою очередь, объем  $L_{\text{таскз}}$  имеет более сложную структуру и состоит из объема информации, пересылаемой в виде обычных пакетов полного размера ( $L_{\text{полн}}$ ), а также в виде агрегированных пакетов ( $L_{\text{агр}}$ ). При этом, согласно базовым принципам предложенного способа, пакеты обычного (полного) объема пересылаются лишь в начале сессий (для создания соответствующих записей в таблицах контекстов компрессора и декомпрессора), а также в случае необходимости восстановления контекста в результате потери ряда голосовых фреймов в рамках утраченного агрегированного IP-пакета. Структура же агрегированных пакетов предполагает наличие общих служебных заголовков размером минимум 20 байт в каждом агрегированном пакете и по одному фрейму с полезной нагрузкой (включая дополнительный минизаголовок) на каждый IP-пакет, поступающий к компрессору. Таким образом:

$$L_{\text{полн}} = (X_{\text{старт}} + X_{\text{проп}} X_{\text{сред}}) S_{\text{ірір}},$$

$$L_{\text{агр}} = X_{\text{агр}} S_{\text{общ\_агр}} + X_{\text{фрейм}} S_{\text{фрейм}}, \quad (3)$$

где  $X_{\text{старт}}$  – количество пакетов, пересылаемых в начале сессий за период времени  $\Delta T$  (для упрощения будем считать, что этот параметр равняется общему количеству сессий  $N$ );

$X_{\text{проп}}$  – количество агрегированных пакетов, утраченное в общем потоке между компрессором и декомпрессором за период времени  $\Delta T$  ( $X_{\text{проп}} = N\lambda\Delta T P_{\text{потерь}}$ );

$X_{\text{сред}}$  – среднее количество голосовых фреймов в одном агрегированном пакете;

$X_{\text{агр}}$  – количество агрегированных пакетов, передаваемых через туннель за период времени  $\Delta T$ ;

$X_{\text{фрейм}}$  – общее количество голосовых фреймов (без учета повторной передачи и начала сессий), которое передается через туннель за период времени  $\Delta T$  (обычно может быть определена как разница между общим количеством голосовых фреймов и количеством пакетов, пересылаемых в начале сессий  $X_{\text{фрейм}} = N\lambda\Delta T - X_{\text{старт}}$ );

$S_{\text{заг\_агр}}$  – размер заголовка агрегированного пакета (включая размер заголовка IP-пакета), байт;

$S_{\text{фрейм}}$  – размер голосового фрейма вместе с заголовком, байт.

Следует отметить, что среди всех обозначенных выше параметров, только количество агрегированных пакетов  $X_{\text{агр}}$  и среднее количество голосовых фреймов в агрегированном пакете  $X_{\text{сред}}$  зависят от времени агрегации  $T_{\text{агр}}$ . При этом эти два параметра связаны между собой выражением:

$$X_{\text{сред}} = \frac{X_{\text{фрейм}}}{X_{\text{агр}}}. \quad (4)$$

Для определения зависимости количества агрегированных пакетов, передаваемых через туннель за период времени  $\Delta T$  от времени агрегации, представим компрессор в виде одноканальной системы массового обслуживания (СМО) с отказами [5, 6] в которой интенсивность обслуживания  $\mu_{\text{компр}} = \frac{1}{T_{\text{агр}}}$ .

В этом случае количество агрегированных пакетов  $X_{\text{агр}}$  можно определить через абсолютную пропускную способность СМО (с учетом времени  $\Delta T$ ):

$$X_{\text{агр}} = \frac{N\lambda\mu_{\text{компр}}\Delta T}{N\lambda + \mu_{\text{компр}}}. \quad (5)$$

Таким образом, определив, зависимость количества агрегированных пакетов, передаваемых через

туннель, за период времени  $\Delta T$  от времени агрегации и учитывая выражения (1-4) можно определить зависимость «коэффициента эффективности» от «времени агрегации».

## Выводы и результаты

1. Процесс передачи голосовой информации через IP-туннель, организованный с использованием предложенного способа минимизации служебной информации зависит от достаточно большого количества внешних и внутренних факторов.

2. Разработана математическая модель туннеля с агрегацией сессий и компрессией заголовков, которая позволяет получить аналитические выражения, связывающие базовые характеристики туннелирования IP-нагрузки между собой.

3. Основным назначением полученных в работе аналитических выражений является их применение в модуле контроля за соблюдением качества обслуживания в рамках программной реализации туннеля.

4. Разработанная модель может быть использована для получения других зависимостей при дальнейших исследованиях.

## Литература

1. Каптур, В.А. Метод мінімізації службової інформації при тунелюванні IP-навантаження [Текст] / В.А. Каптур, Є.В. Добровольський, О.О. Яніна // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2009. – №4. – С. 91 – 98.
2. Таненбаум, Э. Компьютерные сети [Текст] / Э. Таненбаум. – СПб.: Питер, 2005. – 992 с.
3. Каптур, В.А. Оцінка ефективності процесу тунелювання голосового навантаження з агрегацією сесій та компресією заголовків [Текст] / В.А. Каптур, Є.В. Добровольський, О.О. Яніна // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2010. – №3. – С. 92 – 97.
4. Деклараційний патент на корисну модель 57700 Україна, Н 04 L 12/46, Н 04 L 12/56, Н 04 L 29/02, Н 04 L 99/00. Заявлено 02.08.2010. Опубл. 10.03.11, Бюл. № 5. Каптур В.А., Добровольський Є.В., Яніна О.О. Спосіб мінімізації службової інформації при тунелюванні RTP-навантаження.
5. Крылов, В.В. Теория телетрафика и ее приложения [Текст] / В.В. Крылов, С.С. Самохвалова. - СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 288 с.
6. Бочаров, П.П. Теория массового обслуживания. Учебник [Текст] / П.П. Бочаров, А.В. Печинкин. - М.: Изд-во РУДН, 1995. – 529 с.

Поступила в редакцію 04.06.2012

**Рецензент:** д-р техн. наук, професор, проректор по учебной работе Н.В. Захарченко, Одесская национальная академия связи им. А.С. Попова, Одесса.

### МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ТУНЕЛЮВАННЯ ГОЛОСОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ З АГРЕГАЦІЄЮ СЕССІЙ ТА КОМПРЕСІЄЮ ЗАГОЛОВКІВ

*О.О. Яніна*

В роботі розроблена математична модель тунелю, що побудовано на базі запропонованого автором механізму мінімізації службової інформації при тунелюванні IP-навантаження. В основу моделі покладено принципи теорії масового обслуговування, а також відомості про структуру службових заголовків відповідного телекомунікаційного протоколу. Модель включає низку аналітичних виразів, що поєднують між собою базові характеристики тунелювання IP-навантаження. За допомогою моделі розглянуто одну з найбільш цікавих, з точки зору забезпечення якості обслуговування, залежностей – залежність «коефіцієнту ефективності» від часу агрегації.

**Ключеві слова:** математичне моделювання, стиснення голосового навантаження, IP-телефонія, протокольна надлишковість, час агрегації.

### MODELING OF VOICE DATA TUNNELING WITH SESSIONS AGGREGATION AND HEADERS COMPRETION

*О.А. Yanina*

Developed a mathematical model of the tunnel, built on the basis of the proposed mechanism to minimize overhead of IP-traffic tunneling. The model is based on the principles of queuing theory and on the information about the structure of the relevant headers of telecommunication protocol. The model includes a number of analytical expressions with the basic characteristics of IP-traffic tunneling. Review the one of the most interesting in terms of quality of service - dependence of the "efficiency ratio" from aggregation time.

**Key words:** mathematical modeling, voice compression, IP-telephony, protocol redundancy, time of aggregation

**Яніна Ольга Александровна** – аспирант, Одесская национальная академия связи им. А.С. Попова, Одесса, Украина, e-mail: olga\_yani@mail.ru.