

УДК 681.324

С.Г. СЕМЕНОВ

*Харьковский университет Воздушных Сил им. Ивана Кожедуба, Украина***РАСПРЕДЕЛЕНИЕ КАНАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ СЕТЕВОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПРИ ИНФОРМАЦИОННОМ ОБМЕНЕ В ЕДИНОЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ**

Проведено моделирование процесса распределения канальных ресурсов сетевого оборудования (мультиплексоров) при информационном обмене в единой автоматизированной системе управления. Проиллюстрированы зависимости времени обслуживания информации в сетевом оборудовании от загрузки системы и длины информационных пакетов. Сделаны выводы об эффективности объединенных систем обслуживания по сравнению с системами с разделенными ресурсами (по критерию минимального сбалансированного времени доставки информационных пакетов).

**мультиплексор, сбалансированное время доставки, информационный пакет****Введение**

**Постановка проблемы.** Реформирование Вооруженных Сил, в том числе и Воздушных Сил, невозможно без постоянного совершенствования системы управления с учетом новых тенденций в развитии теории и практики войны, а также новейших технологических достижений [1]. Одним из факторов успешного выполнения поставленных перед Воздушными Силами задач является создание Единой автоматизированной системы управления, в которой было бы обеспечено требуемое качество передачи информации различного класса (потокowego, интерактивного, речевого и др.). В условиях циркулирования в сети однородного трафика такую задачу решают с помощью известных методов управления сетевыми ресурсами и сетевым оборудованием, обеспечение же качества связи при передаче видео и звуковой информации от различных источников представляется более сложной задачей, требующей использования новых средств.

**Анализ литературы** [2 – 4] показал, что основная проблема при объединении трафика – противоречивые требования, предъявляемые разными типами информации к каналу связи. Для голоса требуется минимизация времени передачи в канале связи, для видео – обеспечение постоянной скорости передачи при выделении достаточно большой пропускной способности и т.д. При наличии потоков, поступающих из разнородных терминаль-

ных устройств, возникают отличия не только электрических, но и вероятностных характеристик генерируемых этими устройствами сообщений.

Традиционным подходом при интеграции разнородных видов трафика является статическое временное мультиплексирование (TDM – time division multiplexing). При этом каждому виду сервиса выделяется своя независимая постоянная полоса пропускания в пределах канала. При этом можно наилучшим образом учесть особенности каждого вида трафика. Альтернативой TDM является использование статистического мультиплексирования, при котором каждый сервис занимает полосу пропускания только при наличии трафика. Для этого используются пакетные методы передачи информации, наиболее распространенными из которых являются Frame Relay и ATM.

Предположим, что на вход мультиплексора поступают два потока с различными статистическими характеристиками. Распределения числа требований, поступающих в единицу времени, описываются законами  $P_1(k)$  и  $P_2(k)$  с интенсивностями  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$ ; распределения длин информационных пакетов описываются законами  $P_1(\ell_p)$  и  $P_2(\ell_p)$  со средними значениями  $\bar{\ell}_p^{(1)}$  и  $\bar{\ell}_p^{(2)}$  соответственно. Пропускная способность выходного канала связи ограничена фиксированной величиной  $\mu$ .

Потоки могут обслуживаться двумя мультиплексорами с пропускными способностями выходных каналов  $\mu_1$  и  $\mu_2$ , или одним мультиплексором с общим ресурсом выходного канала, равным  $\mu_\Sigma = \mu_1 + \mu_2$ .

С целью упрощения решения предполагаем в дальнейшем, что потоки описываются одними и теми же законами поступления требований и законами распределения длин и различаются лишь первые моменты ( $\lambda_1 \neq \lambda_2$ ,  $\bar{\ell}_1 \neq \bar{\ell}_2$ ), что является вполне типичным для терминальных участков сетей.

Решая задачу о целесообразности объединенного или раздельного обслуживания двух статистически различных потоков, будем использовать критерий минимального сбалансированного времени  $T_{mc}$  доставки информационных пакетов. Предполагаем, что на вход системы обслуживания, моделирующей мультиплексор, поступают пуассоновские потоки с произвольным законом распределения длин.

1. Определение сбалансированного времени доставки информационных пакетов в целом для системы, в которой потоки обслуживаются двумя раздельными мультиплексорами.

Находим значения сбалансированного времени доставки информационных пакетов для обоих мультиплексоров, каждый из которых моделируется системой М/М/1.

Воспользовавшись выражением для расчета сбалансированного времени доставки информационных пакетов из [5], выпишем среднее время  $\bar{t}_{обс}^{(i)}$  пребывания информационного пакета в системе обслуживания для мультиплексора с номером  $i$  ( $i = 1, 2$ ):

$$\bar{t}_{обс}^{(i)} = t_k^{(i)} + t_{ож}^{(i)} + t_{пер}^{(i)} \quad (1)$$

или

$$\bar{t}_{обс}^{(i)} = t_k^{(i)} + \frac{\ell_p^{(j)}}{\mu_s^{(i)}} + \frac{\ell_p^{(j)}}{\mu_s^{(i)}} \cdot \frac{\lambda_i \cdot \phi_s}{\phi_s^{(i)} \cdot \frac{\mu_s^{(i)}}{\ell_p^{(j)}} - \lambda_i \cdot \phi_s}, \quad (2)$$

где  $t_k^{(i)}$  – интервал времени между моментами приема информационного пакета в  $i$ -м мультиплексоре, и его постановки в очередь на дальнейшую передачу;  $\lambda_i$  –

интенсивность входного в  $i$ -й мультиплексор потока информации;  $\ell_p^{(j)}$  – длина передаваемого информационно-го пакета;  $\mu_s^{(i)}$  – пропускная способность канала связи  $s$ -го маршрута;  $\phi_s$  – коэффициент распределения потока цифровой информации по  $s$ -му маршруту;  $\phi_s^{(i)}$  – коэффициент распределения потока цифровой информации в инцидентном  $i$ -му мультиплексору канале связи  $s$ -го маршрута.

Теперь необходимо определить среднее время пребывания  $\bar{t}_{обс}^{(P)}$  информационного пакета в целом для системы с разделенным канальным ресурсом. Поскольку время пребывания информационного пакета в системе обслуживания зависит от интенсивности входящего потока, то при вычислении результирующего времени пребывания в системе с раздельным обслуживанием каждая из составляющих  $\bar{t}_{обс}^{(1)}$  и  $\bar{t}_{обс}^{(2)}$  должна учитываться с соответствующим весовым коэффициентом. Этот коэффициент определяется как отношение интенсивности  $\lambda_i$  одного из потоков к суммарной интенсивности  $\lambda^{об} = \lambda_1 + \lambda_2$ . Тогда среднее время пребывания информационного пакета для системы с раздельным обслуживанием  $\bar{t}_{обс}^{(P)}$  имеет вид:

$$\bar{t}_{обс}^{(P)} = \frac{\lambda_1}{\lambda_1 + \lambda_2} \cdot \bar{t}_{обс}^{(1)} + \frac{\lambda_2}{\lambda_1 + \lambda_2} \cdot \bar{t}_{обс}^{(2)}. \quad (3)$$

2. Минимизация среднего времени пребывания информационного пакета в системе с разделенным ресурсом.

Минимизируем  $\bar{t}_q^{(P)}$ , варьируя значения  $\mu_1$  и  $\mu_2$  при фиксированной суммарной пропускной способности  $\mu_\Sigma = \mu_1 + \mu_2$ .

Это классическая задача условной оптимизации, которая может быть решена методом множителей Лагранжа. Сложность нахождения экстремума определяется видом закона распределения времени обслуживания, влияющего на вид уравнений для отыскания величин  $\mu_i$ .

3. Определение среднего времени пребывания информационного пакета в системе с общим канальным ресурсом.

Величина  $\bar{t}_{обс}^{(об)}$  вычисляется в соответствии с формулой Хинчина-Полячека [7], в которую необходимо подставить параметры суммарного потока сообщений. Интенсивность поступления требований такого потока определяется как сумма интенсивностей каждого их потоков

$$\lambda^{(об)} = \lambda_1 + \lambda_2. \quad (4)$$

Средняя длина информационных пакетов находится как взвешенная сумма длин  $\bar{\ell}_p^{(1)}$  и  $\bar{\ell}_p^{(2)}$ :

$$\bar{\ell}_p^{(об)} = \frac{\lambda_1}{\lambda^{(об)}} \ell_p^{(1)} + \frac{\lambda_2}{\lambda^{(об)}} \ell_p^{(2)}. \quad (5)$$

Среднеквадратичное отклонение времени обслуживания  $\delta_{t_s}^{(об)}$  определяется типом распределения времени обслуживания с учетом выражения для  $\bar{\ell}_p^{(об)}$ . Подставляя все определенные величины в выражение (2), находим величину  $\bar{t}_{обс}^{(об)}$ .

4. Исследование соотношения между характеристиками  $\bar{t}_{обс}^{(P)}$  и  $\bar{t}_{обс}^{(об)}$ .

Величина этого соотношения позволяет количественно оценить выигрыш, получаемый при использовании той или иной системы обслуживания для различных распределений длин сообщений.

В качестве примера рассмотрим случай, когда на вход мультиплексора со стороны терминалов поступают два пуассоновских потока с интенсивностями  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$ . Положим также, что длины сообщений распределены по экспоненциальному закону со средними  $\bar{\ell}_p^{(1)}$  и  $\bar{\ell}_p^{(2)}$  соответственно. Необходимо оценить целесообразность применения объединенной или отдельной системы обслуживания.

С учетом принятых предположений о распределении входящих потоков задача сводится к анализу времени доставки информационных пакетов в системе типа М/М/1. Формула (2) упрощается, и параметр  $\bar{t}_{обс}^{(i)}$  для каждой из систем с разделенным каналным ресурсом определяется выражением вида

$$\bar{t}_{обс}^{(i)} = t_k^{(i)} + \frac{\bar{\ell}_p^{(i)} \cdot \phi_s^{(i)}}{\phi_s^{(i)} \cdot \mu_s^{(i)} - \lambda_i \cdot \bar{\ell}_p^{(i)} \cdot \phi_s}. \quad (6)$$

Среднее время пребывания информационного пакета в системе с отдельным обслуживанием определяется в соответствии с формулой (2):

$$\bar{t}_{обс}^{(P)} = \frac{\lambda_1}{\lambda_1 + \lambda_2} \cdot \frac{\bar{\ell}_p^{(1)}}{\mu_1 - \lambda_1 \bar{\ell}_p^{(1)}} + \frac{\lambda_2}{\lambda_1 + \lambda_2} \cdot \frac{\bar{\ell}_p^{(2)}}{\mu_2 - \lambda_2 \bar{\ell}_p^{(2)}}. \quad (7)$$

Очевидно, что существует некоторое оптимальное значение  $\mu_1^{(онм)}$  (или  $\mu_2^{(онм)}$ ), при котором  $\bar{t}_{обс}^{(P)}$  из (7) имеет минимальное значение. Поскольку аналогичная задача для систем с пуассоновским входящим потоком и экспоненциальными длинами была решена в [6] с использованием метода множителей Лагранжа, нет необходимости решать задачу на отыскание экстремума. Оптимальное распределение пропускных способностей (по критерию минимума сбалансированного времени доставки информационных пакетов) между  $N$  системами обслуживания при фиксированном общем значении канального ресурса осуществляется в соответствии с выражением вида [3]:

$$\mu_i^{(онм)} = \lambda_i \bar{\ell}_p^{(i)} + \frac{\mu_\Sigma (1 - \phi_s) \sqrt{\lambda_i \bar{\ell}_p^{(i)}}}{\sum_{i=1}^N \sqrt{\lambda_i \bar{\ell}_p^{(i)}}}. \quad (8)$$

С учетом (8) минимальное сбалансированное время доставки информационных пакетов для случая двух систем с разделенными очередями достигается при следующем значении одной из пропускных способностей; (например, для  $i = 1$ ):

$$\mu_1^{(онм)} = \lambda_1 \bar{\ell}_p^{(1)} + \mu_\Sigma (1 - \phi_s) \frac{\sqrt{\lambda_1 \bar{\ell}_p^{(1)}}}{\sqrt{\lambda_1 \bar{\ell}_p^{(1)}} + \sqrt{\lambda_2 \bar{\ell}_p^{(2)}}}, \quad (9)$$

где загрузка  $\phi_s$  определяется как

$$\phi_s = \frac{(\lambda_1 + \lambda_2) \bar{\ell}_p^{(об)}}{\mu_\Sigma}. \quad (10)$$

Тогда пропускная способность второй системы  $\mu_2 = \mu_\Sigma - \mu_1^{(онм)}$ . Подставляя значение  $\mu_1^{(онм)}$  из (9) в (7), находим минимальное сбалансированное время доставки информационных пакетов:

$$\bar{t}_{обс\min}^{(P)} = \frac{\left(\sqrt{\lambda_1 \bar{\ell}_p^{(1)}} + \sqrt{\lambda_2 \bar{\ell}_p^{(2)}}\right)^2}{\mu_\Sigma (\lambda_1 + \lambda_2) (1 - \phi_s)}. \quad (11)$$

Найдем далее среднее время  $\bar{t}_{обс}^{(об)}$  пребывания информационного пакета в объединенной системе мультиплексирования с пропускной способностью выходного канала  $\mu_\Sigma$  :

$$\bar{t}_{обс}^{(об)} = \bar{t}_k^{(об)} + \frac{\bar{\ell}_p^{(об)}}{\mu_\Sigma - \lambda^{(об)} \cdot \bar{\ell}_p^{(об)}}, \quad (12)$$

где  $\mu_\Sigma = \mu_1 + \mu_2$ ,  $\lambda^{(об)}$  и  $\bar{\ell}_p^{(об)}$  определяются в соответствии с (4) и (5).

Сравнивая (12) и (11), можно видеть, что  $\bar{t}_{обс}^{(P)} > \bar{t}_{обс}^{(об)}$ , следовательно, система мультиплексирования с общим канальным ресурсом при пуассоновском входящем потоке и экспоненциальном обслуживании всегда лучше (по критерию минимума сбалансированного времени доставки информационных пакетов), чем система с раздельным обслуживанием. На рис. 1 приведены кривые зависимости  $\Delta \bar{t}_{обс} = \bar{t}_{обс}^{(P)} - \bar{t}_{обс}^{(об)}$  с параметром семейства  $\bar{\ell}_p$  от загрузки системы. При расчетах были приняты следующие исходные данные:  $\mu_\Sigma = 400 \text{ Кбит} / \text{с}$ ,  $\lambda_1 = \lambda_2$ .

Очевидно, что выигрыш в задержке растет с увеличением загрузки и оказывается особенно существенным в режиме больших загрузок. В то же время для фиксированного  $\mu_\Sigma$  выигрыш в задержке падает с уменьшением длины информационного пакета. Это объясняется тем, что абсолютные значения  $\bar{t}_{обс}^{(P)}$  и  $\bar{t}_{обс}^{(об)}$  также становятся весьма незначительными.

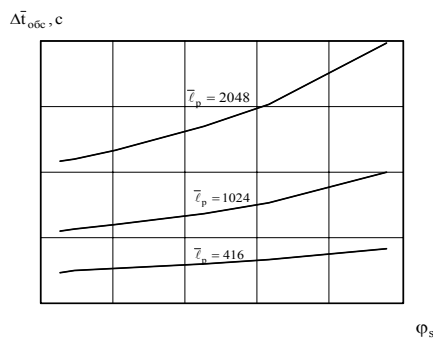


Рис. 1. Зависимость  $\Delta \bar{t}_{обс}$  от загрузки системы

## Выводы

Проведенный анализ подтверждает известный из теории массового обслуживания результат о том, что объединенная система обслуживания является более эффективной, чем система с разделенными ресурсами. Представленные результаты позволяют количественно оценить получаемый выигрыш для конкретных распределений и значений их параметров. Но следует иметь в виду, что увеличение числа объединяемых пучков сообщений ведет к росту аппаратной сложности мультиплексорных систем. Поэтому при проектировании необходимо выбрать компромиссное решение, удовлетворяющее определенным технико-экономическим требованиям «остаточной» пропускной способности этих каналов.

## Литература

1. Біла книга 2007: оборонна політика України. – К.: МО України, 2008. – 120 с.
2. Величко В.В. Передача данных в сетях мобильной связи третьего поколения. – М.: Радио и связь, Горячая линия-Телеком, 2005. – 332 с.
3. Дымарский Я.С., Крутякова Н.П., Яновский Г.Г. Управление сетями связи: Принципы, протоколы, прикладные задачи. – М.: ИТЦ МК, 2003. – 384 с.
4. Бирюков Н.Л., Стеклов В.К. Транспортные сети и системы электросвязи. Системы мультиплексирования. – К., 2003. – 352 с.
5. Кириллов И.Г., Семенов С.Г. Математическая модель адаптивной маршрутизации цифровой информации о воздушной обстановке // Системы обработки информации. – Х.: ХУ ПС, 2007. – № 5 (63). – С. 50-53.
6. Клейнрок Л. Теория массового обслуживания: Пер с англ. / Под ред. В.И.Неймана. – М.: Машиностроение, 1979. – 432 с.
7. Королев А.В., Кучук Г.А., Пашнев А.А. Адаптивная маршрутизация в корпоративных сетях. – Х.: ХВУ, 2003. – 224 с.

Поступила в редакцию 10.02.2008

**Рецензент:** д-р техн. наук А.В. Лемешко, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.