



## МОДЕЛИ ЛОКАЛЬНЫХ ПЕРЕГРУЗОК В СЕТЯХ С КОММУТАЦИЕЙ ПАКЕТОВ

*БИДНЫЙ Ю.М., БУХАНЬКО А.Н., КОЛТУН Ю.Н.*

По результатам исследования характеристик сетей следующего поколения (NGN) с коммутацией дейтаграмм IP и ячеек ATM в условиях локальных перегрузок на основе их двухполосных моделей делается вывод о том, что сеть с коммутацией ячеек ATM меньше подвержена их влиянию, чем сеть с коммутацией дейтаграмм IP. Определяется необходимость решения задач минимизации вероятности блокировок при заданных временах задержек за счет выбора объемов буферной памяти сетевых узлов и процедур контроля локальных перегрузок на основе представленных моделей.

### Введение

Метод коммутации пакетов является основой сетей следующего поколения (Next Generation Network, NGN) [1], которые обеспечивают поддержку разнообразных служб и доставку всех видов информации в виде пакетов переменной длины – дейтаграмм технологии IP и/или постоянной длины – ячеек технологии ATM. Одной из важнейших проблем при построении таких сетей является контроль перегрузок [2], под которыми понимается такое состояние сети, когда ее основные показатели качества обслуживания потребителей существенно ухудшаются (увеличиваются количество потерянных пакетов, среднее время и джиттер их доставки). Причинами перегрузок могут быть резкое увеличение интенсивности поступающего в сеть трафика (нагрузки), недостаточная емкость накопителей пакетов сетевых узлов.

Целью данного исследования является решение актуальной задачи выбора сетевых моделей и расчета соответствующих характеристик в условиях локальных перегрузок. Для ее решения предусматривается использование двухполосной одноканальной модели сети с ограниченной емкостью накопителей пакетов для сетевых узлов (полюсов) [3]. При анализе ее характеристик с позиций теории очередей [3, 4] для простейшего потока поступающих пакетов она рассматривается как система типа M/M/1/N в случае коммутации дейтаграмм IP или как система M/D/1/N в случае коммутации ячеек ATM.

### 1. Двухполосная модель сети с коммутацией пакетов при локальных перегрузках

Для исследования характеристик сетей с коммутацией пакетов в условиях локальных перегрузок используем их двухполосную одноканальную модель с ограни-

ченной емкостью накопителей пакетов для сетевых узлов (полюсов) [3], которая приведена на рис. 1.

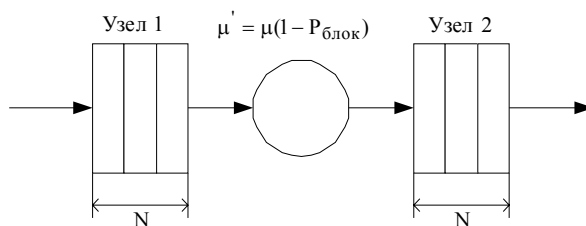


Рис. 1. Двухполосная модель сети с коммутацией пакетов при локальных перегрузках

Эта модель предусматривает, что в узел 1 поступает поток пакетов с интенсивностью  $\lambda$ , сам узел характеризуется объемом буферной памяти (длиной очереди)  $N$  и вероятностью блокировки  $P_{\text{блок}}$  при ее переполнении, а исходящий из него канал – интенсивностью обслуживания пакетов  $\mu = C/\bar{K}$ , где  $C$  – пропускная способность канала,  $\bar{K}$  – средняя длина пакета. При этом интенсивность поступающей в узел 1 нагрузки определяется величиной  $\rho = \lambda/\mu$ .

Пакеты, достигающие узла 2, могут быть заблокированы и там с такой же вероятностью  $P_{\text{блок}}$ . Это равносильно тому, что эффективная интенсивность обслуживания пакетов каналом уменьшается до величины  $\mu' = \mu(1 - P_{\text{блок}})$ , а интенсивность нагрузки на входе узла 2 будет равна

$$\rho' = \frac{\lambda}{\mu'} = \frac{\rho}{1 - P_{\text{блок}}} \quad (1)$$

Как следует из теории очередей [3, 4], вероятность блокировки  $P_{\text{блок}}$  является функцией интенсивности нагрузки  $\mu'$ , что приводит к нелинейному уравнению, с помощью которого можно найти методом итераций  $P_{\text{блок}}$  и  $\rho'$ , а также среднюю длину очереди  $\bar{N}$ , среднее время задержки пакетов в ней  $\bar{T}$  и нормированную производительность (интенсивность обслуженной нагрузки) [3]:

$$\frac{\gamma}{\mu'} = \rho'(1 - P_{\text{блок}}) \quad (2)$$

Ниже приведены результаты расчетов этих характеристик для системы типа M/M/1/N в случае коммутации дейтаграмм IP и системы M/D/1/N – в случае коммутации ячеек ATM.

### 2. Система M/M/1/N

Для данной системы вероятность блокировки определяется соотношением [3]

$$P_{\text{блок}} = \frac{\rho'^N (1 - \rho')}{1 - \rho'^{N+1}} \quad (3)$$

Результаты решения нелинейных уравнений (1), (3) методом итераций в программном пакете Mathcad

Professional для объемов буферной памяти  $N = 5, 10, 15, 20$  представлены на рис. 2 в виде зависимости вероятности блокировки  $P_{\text{блок}}$  от интенсивности нагрузки  $\rho'$ .

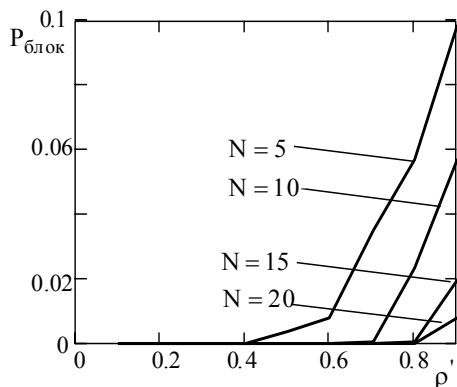


Рис. 2. Зависимость вероятности блокировки от интенсивности нагрузки в системе M/M/1/N

Средняя длина очереди в системе M/M/1/N находится по формуле [3]

$$\bar{N} = \frac{\rho'^2 [1 - (N+1)\rho'^N + N\rho'^{N+1}]}{(1-\rho'^{N+2})(1-\rho')} \quad (4)$$

Среднее время задержки найдем по формуле Литтла [3]

$$\bar{T} = \frac{\bar{N}}{\lambda} = \frac{\rho' [1 - (N+1)\rho'^N + N\rho'^{N+1}]}{\mu' (1-\rho'^{N+2})(1-\rho')} \quad (5)$$

График зависимости данной величины от интенсивности нагрузки при пропускной способности тракта ИКМ-30  $C = 1920$  кбит/с и средней длине дейтаграмм IP К = 576 байт, которая должна поддерживаться любыми устройствами сети для объемов буферной памяти  $N = 5, 10, 15, 20$ , приведен на рис. 3.

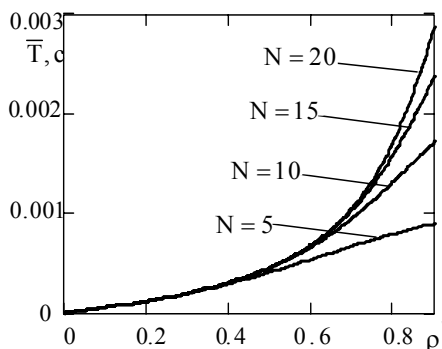


Рис. 3. Зависимость среднего времени задержки от интенсивности нагрузки в системе M/M/1/N

График зависимости (2) нормированной производительности от интенсивности нагрузки в системе M/M/1/N для объемов буферной памяти  $N = 5, 10, 15, 20$  представлен на рис. 4.

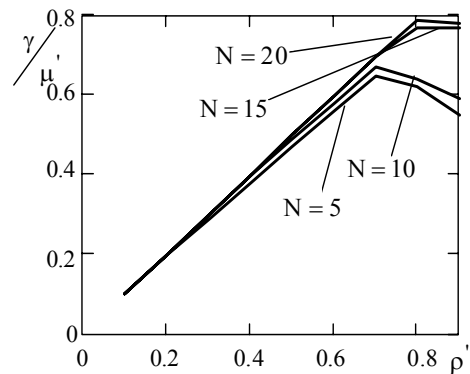


Рис. 4. Зависимость нормированной производительности от интенсивности нагрузки в системе M/M/1/N

### 3. Система M/D/1/N

Для данной системы вероятность блокировки определяется соотношением [4]

$$P_{\text{блок}} = 1 - \frac{\sum_{j=0}^N \frac{e^{j\rho'} \cdot (-j \cdot \rho')^{N-j}}{(N-j)!}}{\sum_{j=0}^{N+1} \frac{e^{j\rho'} \cdot (-j \cdot \rho')^{N-j+1}}{(N-j+1)!}} \quad (6)$$

Результаты решения нелинейных уравнений (1), (6) методом итераций в программном пакете Mathcad Professional для объемов буферной памяти  $N = 5, 10, 15, 20$  представлены на рис. 5 в виде зависимости вероятности блокировки  $P_{\text{блок}}$  от интенсивности нагрузки  $\rho'$ .

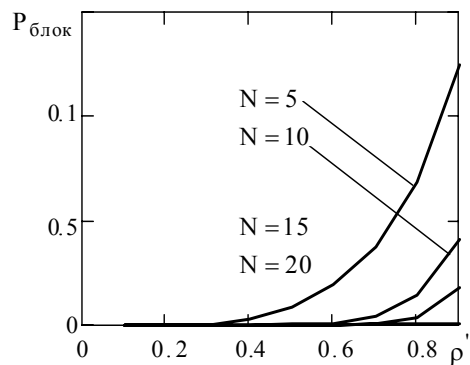


Рис. 5. Зависимость вероятности блокировки от интенсивности нагрузки в системе M/D/1/N

Средняя длина очереди в системе M/D/1/N находится по формуле [4]

$$\bar{N} = \frac{\sum_{n=0}^N n \cdot \left( \sum_{j=0}^n \frac{e^{j\rho'} \cdot (-j \cdot \rho')^{n-j}}{(n-j)!} - \sum_{j=0}^{n-1} \frac{e^{j\rho'} \cdot (-j \cdot \rho')^{n-j-1}}{(n-j-1)!} \right)}{\sum_{j=0}^{N+1} \frac{e^{j\rho'} \cdot (-j \cdot \rho')^{N-j+1}}{(N-j+1)!}} \quad (7)$$

Среднее время задержки найдем, используя соотношение (7) и формулу Литтла:

$$\bar{T} = \frac{\bar{N}}{\lambda} = \frac{\sum_{n=1}^N n \cdot \left( \sum_{j=0}^n \frac{e^{j\rho'} \cdot (-j \cdot \rho')^{n-j}}{(n-j)!} - \sum_{j=0}^{n-1} \frac{e^{j\rho'} \cdot (-j \cdot \rho')^{n-j-1}}{(n-j-1)!} \right)}{\lambda \cdot \sum_{j=0}^{N+1} \frac{e^{j\rho'} \cdot (-j \cdot \rho')^{N-j+1}}{(N-j+1)!}} \quad (8)$$

График зависимости данной величины от интенсивности нагрузки при пропускной способности тракта ИКМ-30  $C=1920$  кбит/с и длине ячеек АТМ  $\bar{K}=53$  байта приведен на рис. 6.

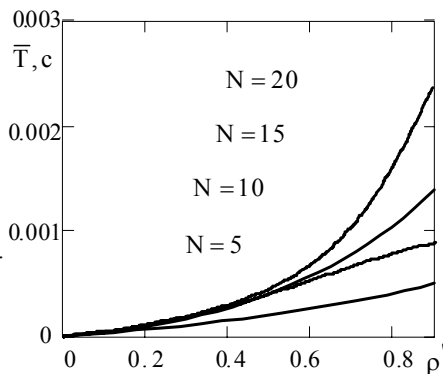


Рис. 6. Зависимость среднего времени задержки от нагрузки в системе M/D/1/N

График зависимости (2) нормированной производительности от интенсивности нагрузки в системе M/D/1/N для объемов буферной памяти  $N=5, 10, 15, 20$  представлен на рис. 7.

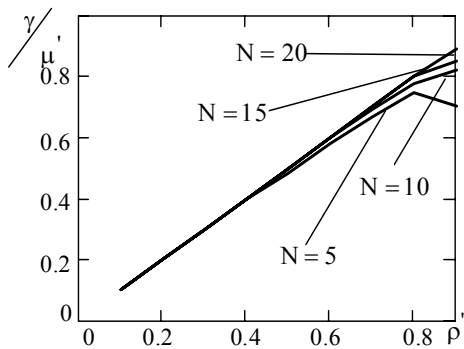


Рис. 7. Зависимость нормированной производительности от интенсивности нагрузки в системе M/D/1/N

## Выводы

Сравнивая результаты исследований, можно сделать следующие выводы:

- сеть с коммутацией ячеек АТМ (система M/D/1/N) при прочих равных условиях имеет лучшие вероятностно – временные характеристики, чем сеть с коммутацией дейтаграмм IP (система M/M/1/N);
- сеть с коммутацией ячеек АТМ меньше подвержена влиянию локальных перегрузок, поскольку при увеличении объема буферной памяти их удается избежать, в то время как для сети с коммутацией дейтаграмм IP это невозможно.

Предложенное при этом обобщение двухполосной одноканальной модели сети в виде системы M/D/1/N представляет основную научную новизну выполненных исследований. Их практическая ценность обуславливается возможностью применения предложенных моделей для определения целесообразности использования того или иного вида коммутации пакетов на отдельных сетевых участках, а также выбора методов решения оптимизационных задач минимизации вероятностей блокировок при заданных временах задержек за счет изменения объемов буферной памяти и использования специальных процедур контроля локальных перегрузок. Решение этих задач можно рассматривать как дальнейшую перспективу исследований в данном направлении.

**Литература:** 1. *Телекоммуникационные системы и сети*: В 3 томах. Том 3. Мультисервисные сети / В.В. Величко, Е. А. Субботин, В.П. Шувалов, А.Ф. Ярославцев; под ред. профессора В. П. Шувалова. М.: Горячая линия-Телеком, 2005. 592 с. 2. *Кульгин М.* Технологии корпоративных сетей. Энциклопедия. СПб.: Питер, 1999. 704 с. 3. *Шварц М.* Сети связи: протоколы, моделирование и анализ. Ч.1. М.: Наука, 1992. 336 с. 4. *Петров М.Н.* Вероятностно-временные характеристики в сетях и системах передачи интегральной информации. Красноярск: ГТУ, 1997. 220 с.

Поступила в редколлегию 14.07.2006

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Барышев И.В.

**Бидный Юрий Михайлович**, канд. техн. наук, доцент кафедры сети связи ХНУРЭ. Научные интересы: разработка моделей протоколов управления информационных сетей. Увлечения: книги, рыбалка. Адрес: Украина, 61057, Харьков, ул. Харьковская набережная, 9, кв. 8, тел. (057) 706-11-81.

**Буханько Александр Николаевич**, ассистент кафедры сети связи ХНУРЭ. Научные интересы: формальное описание стека протоколов сети АТМ. Увлечения: спорт, рыбалка. Адрес: Украина, 61195, Харьков, ул. Гв. Ширинцев, 123, кв. 55, тел. (057) 778-47-09.

**Колтун Юрий Николаевич**, ст. преп. кафедры сети связи ХНУРЭ. Научные интересы: интеллектуальные сети. Увлечения: бильярд, туризм. Адрес: Украина, 61195, Харьков, ул. Ком. Корка, 4, кв. 195, тел. 8050 965 31 40.