

УДК 621.391: 681.324

**И.Н. ПРЕСНЯКОВ, А.Н. БУХАНЬКО, Ю.М. БИДНЫЙ***Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Украина***АНАЛИЗ ПЕРЕГРУЗОК В СЕТЯХ НА ОСНОВЕ ПРОТОКОЛОВ IP И ATM**

По результатам проведенных исследований характеристик сетей с коммутацией дейтаграмм IP и ячеек ATM в контексте их выбора в качестве базовой технологии мультисервисной сети подтверждено, что сеть с коммутацией ячеек ATM менее подвержена действию локальных перегрузок, в сравнении с сетью с коммутацией дейтаграмм произвольной длины IP.

**сеть с коммутацией пакетов, мультисервисная сеть, контроль перегрузок, система массового обслуживания, интенсивность нагрузки, вероятность блокировки, среднее время задержки, технология ATM, протокол IP**

**Введение**

Сети с коммутацией пакетов (КП) [1, 2] являются основой будущей мультисервисной сети, которая обеспечивает поддержку разнообразных служб и доставку всех видов информации в виде пакетов переменной длины – дейтаграмм технологии IP и/или постоянной длины – ячеек технологии ATM.

Мультисервисная сеть строится исходя из универсальных сред передачи, универсальных сетевых технологий и протоколов, которые обеспечивают конвергенцию сетей и интеграцию услуг. Под конвергенцией подразумевается процесс объединения разрозненных сетей передачи видео, голоса и данных, существующих в настоящее время, и соответствующих технологий на общей технологической основе. Под интеграцией услуг понимается процесс предоставления различных услуг на основе единой универсальной технологии. При единой транспортной технологии обмен информацией внутри сети происходит путем инкапсуляции всех видов трафика (голос, видео, данные) в единый сетевой протокол, например, IP или AAL1 – AAL5 (ATM). Однако окончательное решение выбора между этими двумя технологиями для построения мультисервисной сети ещё не сделано ни производителями сетевой техники, ни инвесторами, ни соответствующими науч-

ными институтами.

**Постановка задачи.** Одной из важнейших проблем при построении сетей с КП является контроль перегрузок [2, 3], под которым понимается такое состояние сети, когда ее основные показатели качества обслуживания потребителей существенно ухудшаются (увеличиваются количество потерянных пакетов, среднее время и джиттер их доставки). Перегрузки могут возникать как на отдельных участках сети, так и распространяться на сеть в целом. Причинами перегрузок могут служить резкое увеличение интенсивности поступающего в сеть трафика (нагрузки), недостаточная емкость накопителей пакетов сетевых узлов и каналов, отказы сетевого оборудования.

**Целью** данной статьи являются решения задачи выбора транспортной технологии для построения мультисервисной сети, между стеком протоколов ATM и протоколом IP, исходя из критерия её устойчивости к локальным перегрузкам.

В статье в качестве модели сетей с КП в процессе наступления локальных перегрузок используется двухполюсная одноканальная сетевая модель с ограниченными буферными накопителями узлов. При анализе ее характеристик с позиций теории очередей [4] для простейшего потока поступающих пакетов она рассматривается как система массового об-

служивания типа M/M/1/N в случае коммутации дейтаграмм IP или как система M/D/1/N в случае коммутации ячеек АТМ.

### 1. Двухполюсная модель сети при локальных перегрузках

Для исследования характеристик сетей с КП в условиях локальных перегрузок используем их двухполюсную одноканальную модель с ограниченной емкостью накопителей пакетов для сетевых узлов (полюсов), которая приведена на рис. 1.

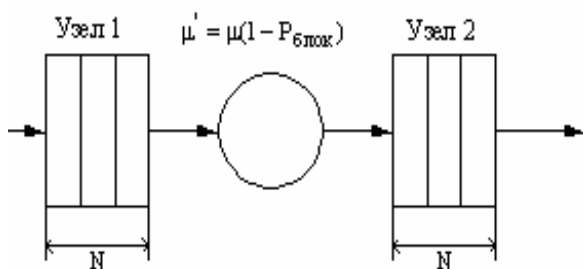


Рис. 1. Двухполюсная модель сети

Эта модель предусматривает, что в узел 1 поступает поток пакетов/ячеек 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  $\rho = \lambda/\mu$  [4].

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 [4], вероятность

блокировки  $P_{\text{блок}}$  является функцией интенсивности нагрузки  $\mu'$ , что приводит к нелинейному уравнению, с помощью которого можно найти  $P_{\text{блок}}$  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 АТМ.

### 2. Система M/M/1/N

СМО M/M/1/N и моделируемый ею протокол IP – это система с одной обслуживающей линией, пуассоновским входящим потоком, показательным распределением времени обслуживания и ограниченной буферной памятью накопителя. Все характеристики системы легко могут быть определены, если найдены вероятности  $p_n$  состояний системы. По определению  $p_n$  – это вероятность того, что в системе находится  $n$  клиентов (пакетов или вызовов), включая клиента, который в процессе обслуживания.

Для данной системы вероятность блокировки определяется следующим соотношением [4]:

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

Исходя из (3) и (1), получим систему нелинейных уравнений:

$$\begin{cases} P_{\text{блок}} = \frac{\rho'^N (1 - \rho')}{1 - \rho'^{N+1}}; \\ \rho' = \frac{\rho}{1 - P_{\text{блок}}}; \\ \rho = \frac{\lambda}{\mu}, \end{cases} \quad (4)$$

где  $\mu$  – начальное время обслуживания в узле 1.

Результаты решения нелинейных уравнений (4) методом итераций для объемов буферной памяти накопителей  $N = 5, 10, 15, 20$  представлены на рис. 2 в виде зависимости вероятности блокировки  $P_{\text{блок}}$  от интенсивности нагрузки  $\rho'$ .

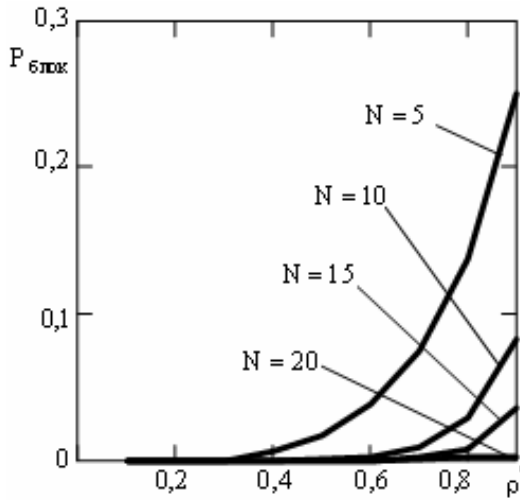


Рис. 2. Зависимость вероятности блокировки от интенсивности нагрузки для IP

Средняя длина очереди в системе M/M/1/N находится по формуле [5]:

$$\bar{N} = \frac{\rho'^2 [1 - (N+1)\rho'^N + N\rho'^{N+1}]}{(1 - \rho'^{N+2})(1 - \rho')} \quad (5)$$

Из выражений (5) и (1) получим систему

$$\begin{cases} \bar{N} = \frac{\rho'^2 [1 - (N+1)\rho'^N + N\rho'^{N+1}]}{(1 - \rho'^{N+2})(1 - \rho')} ; \\ \rho' = \frac{\rho}{1 - P_{\text{блок}}} ; \\ \rho = \frac{\lambda}{\mu} . \end{cases} \quad (6)$$

График зависимости средней длины очереди  $\bar{N}$  от интенсивности нагрузки  $\rho'$  в системе M/M/1/N для объемов буферной памяти  $N = 5, 10, 15, 20$  представлен на рис. 3.

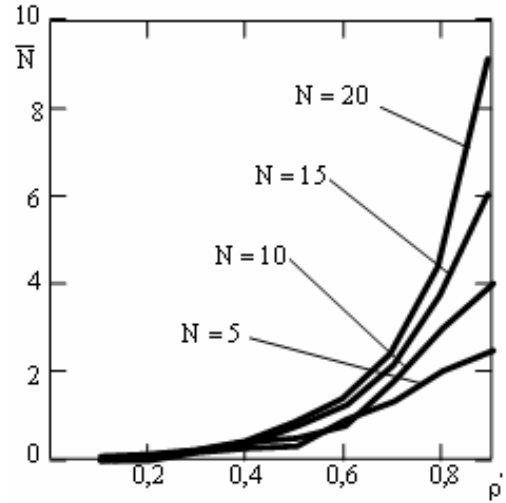


Рис. 3. Зависимость средней длины очереди от интенсивности нагрузки для IP

Среднее время задержки найдем по формуле Литтла [3]:

$$\bar{T} = \frac{\bar{N}}{\lambda} = \frac{\rho' [1 - (N+1)\rho'^N + N\rho'^{N+1}]}{\mu' (1 - \rho'^{N+2})(1 - \rho')} \quad (7)$$

По аналогии с (4) и (6) получим систему нелинейных уравнений, решить которую можно путем метода итераций

$$\begin{cases} \bar{T} = \frac{\bar{N}}{\lambda} = \frac{\rho' [1 - (N+1)\rho'^N + N\rho'^{N+1}]}{\mu' (1 - \rho'^{N+2})(1 - \rho')} ; \\ \rho' = \frac{\rho}{1 - P_{\text{блок}}} ; \\ \rho = \frac{\lambda}{\mu} . \end{cases} \quad (8)$$

График зависимости данной величины от интенсивности нагрузки при пропускной способности тракта ИКМ-30

$$C = 1920 \text{ кбит/с}$$

и средней длине дейтаграмм IP

$$\bar{K} = 576 \text{ байт,}$$

которая должна поддерживаться любыми устройствами сети, приведен на рис. 4.

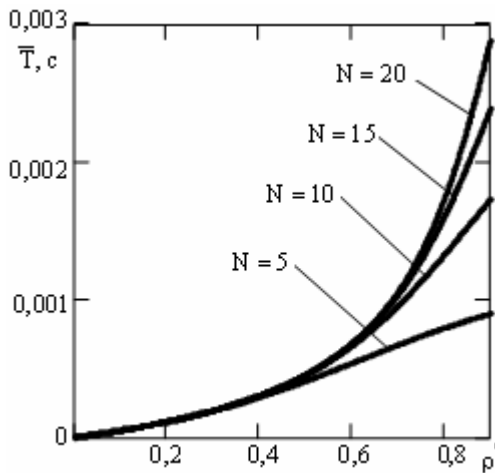


Рис. 4. Зависимость среднего времени задержки от интенсивности нагрузки для IP

Из соотношения (1) и (2) получим систему нелинейных уравнений для нормированной производительности.

$$\begin{cases} \frac{\gamma}{\mu} = \rho' (1 - P_{\text{блок}}); \\ \rho' = \frac{\rho}{1 - P_{\text{блок}}}; \\ \rho = \frac{\lambda}{\mu}. \end{cases} \quad (9)$$

График её зависимости от интенсивности нагрузки в системе M/M/1/N для объемов буферной памяти N = 5, 10, 15, 20 представлен на рис. 5.

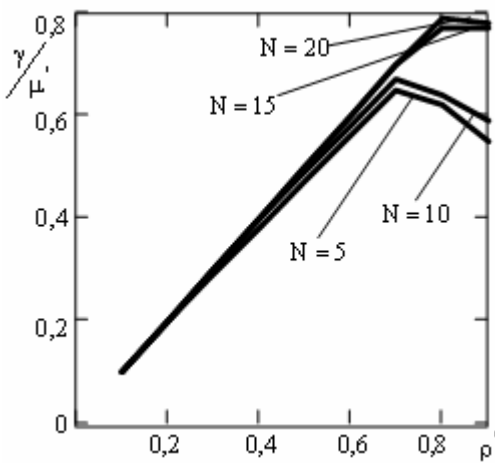


Рис. 5. Зависимость нормированной производительности от интенсивности нагрузки для IP

### 3. Система M/D/1/N

Система M/M/1/D и моделируемая ею сеть ATM – немарковская СМО с фиксированным или постоянным временем обслуживания.

Для данной системы вероятность блокировки определяется соотношением [5]:

$$P_{\text{блок}} = 1 - \frac{\sum_{j=0}^N \frac{e^{j\rho'} \cdot (-j \cdot \rho')^{N-j}}{(N-j)!}}{\sum_{j=0}^{N+1} \frac{e^{j\rho'} \cdot (-j \cdot \rho')^{N-j+1}}{(N-j+1)!}}. \quad (10)$$

По аналогии с (4), (6), (8) и (9) получим систему нелинейных уравнений, результаты решения которых для объемов буферной памяти N = 5, 10, 15, 20 представлены на рис. 6 в виде зависимости вероятности блокировки P\_блок от интенсивности нагрузки rho-prime.

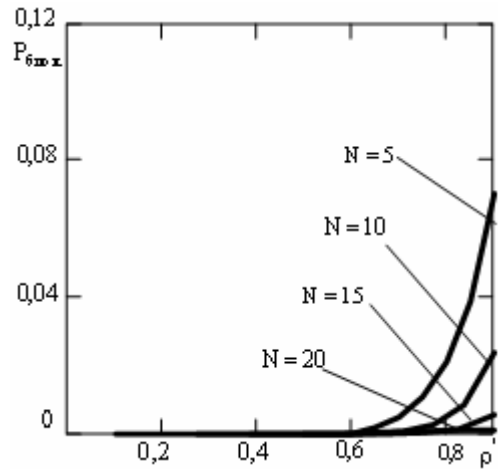


Рис. 6. Зависимость вероятности блокировки от интенсивности нагрузки для ATM

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

$$\bar{N} = \frac{\sum_{n=0}^N n \cdot \left( \frac{\sum_{j=0}^n \frac{e^{j\rho'} \cdot (-j \cdot \rho')^{n-j}}{(n-j)!} - \sum_{j=0}^{n-1} \frac{e^{j\rho'} \cdot (-j \cdot \rho')^{n-j-1}}{(n-j-1)!}}{\sum_{j=0}^{N+1} \frac{e^{j\rho'} \cdot (-j \cdot \rho')^{N-j+1}}{(N-j+1)!}} \right)}{\sum_{j=0}^{N+1} \frac{e^{j\rho'} \cdot (-j \cdot \rho')^{N-j+1}}{(N-j+1)!}}. \quad (11)$$

Решая нелинейную систему уравнений, получим график зависимости средней длины очереди  $\bar{N}$  от интенсивности нагрузки  $\rho'$  на рис. 7

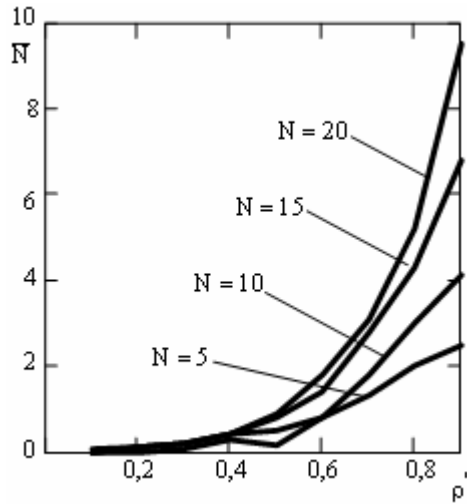


Рис. 7. Зависимость средней длины очереди от интенсивности нагрузки для ATM

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

$$\bar{T} = \frac{\sum_{n=1}^N n \cdot \left( \sum_{j=0}^n \frac{e^{j\rho'} \cdot (-j \cdot \rho')^{n-j}}{(n-j)!} - \sum_{j=0}^{n-1} \frac{e^{j\rho'} \cdot (-j \cdot \rho')^{n-j-1}}{(n-j-1)!} \right)}{\lambda \cdot \sum_{j=0}^{N+1} \frac{e^{j\rho'} \cdot (-j \cdot \rho')^{N-j+1}}{(N-j+1)!}} \quad (12)$$

График зависимости данной величины от интенсивности нагрузки при пропускной способности тракта ИКМ-30  $C=1920$  кбит/с и длине ячеек ATM  $\bar{K}=53$  байта приведен на рис. 8.

Один из важнейших параметров сетей связи – нормированную производительность – найдем так же, как и в случае системы M/M/1/N.

Используя формулу (2) и (10), и решая нелинейную систему уравнений, получим график зависимости нормированной производительности от интенсивности нагрузки в системе M/D/1/N для объемов буферной памяти  $N=5, 10, 15, 20$ , который представлен на рис. 9.

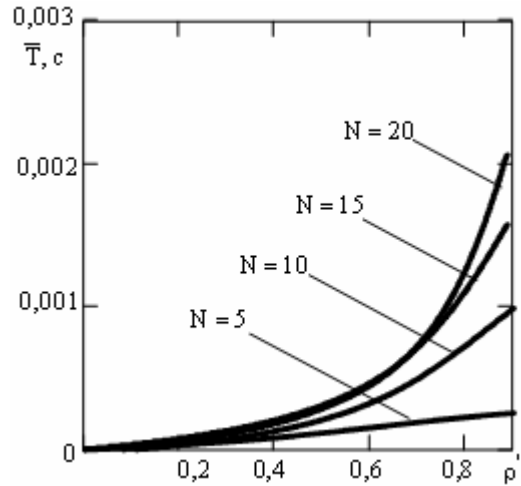


Рис. 8. Зависимость среднего времени задержки от нагрузки для ATM

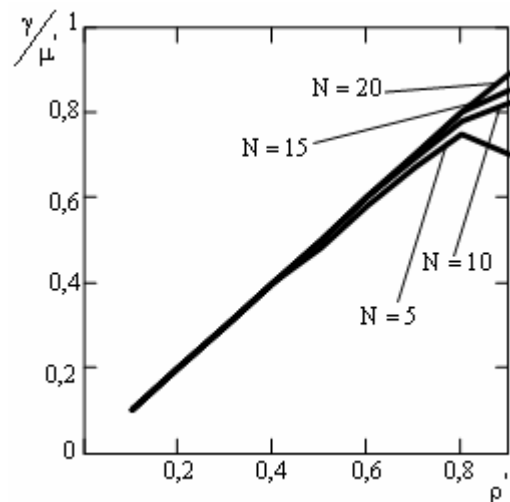


Рис. 9. Зависимость нормированной производительности от интенсивности нагрузки

## Выводы

Сравнивая результаты исследований влияния локальных перегрузок на сети с КП, можно сделать следующие выводы:

– сеть ATM при прочих равных условиях (интенсивности поступающей нагрузки, объеме буферной памяти узлов, пропускной способности каналов) имеет лучшие вероятностно-временные характеристики (меньшие вероятности блокировок и времена задержек, более высокую производительность), чем сеть с коммутацией дейтаграмм IP;

– сеть АТМ меньше подвержена влиянию локальных перегрузок, поскольку при увеличении объема буферной памяти их удастся избежать, в то время как для сети с коммутацией дейтаграмм IP это невозможно;

– увеличение объемов буферной памяти сетевых узлов приводит к уменьшению вероятностей блокировок, но увеличивает времена задержек.

Главным результатом статьи является выбор технологии АТМ как транспортного протокола для построения мультисервисной сети исходя из критерия минимизации воздействия локальных перегрузок на работу сети и адекватности пуассоновской модели потока заявок, что справедливо для случая трафика АТМ сети.

Однако данный выбор происходил только по этому критерию, что обуславливает неполноту проведенного анализа.

В дальнейшем предусматривается анализ возможных транспортных технологий для мультисервисной сети, исходя из критериев стоимости, эффективности, пропускной способности, управляемости и т.д.

Предложенное при этом обобщение двухполусной одноканальной модели сети в виде системы

M/D/1/N представляет дополнительную научную новизну выполненных исследований.

## 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. проф. В.П. Шувалова. – М.: Горячая линия-Телеком, 2005. – 592 с.
2. Ершов В.А., Кузнецов Н.А. Мультисервисные телекоммуникационные сети. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. – 432 с.
3. Кульгин М. Технологии корпоративных сетей. Энциклопедия. – СПб.: Питер, 1999. – 704 с.
4. Шварц М. Сети связи: протоколы, моделирование и анализ. Ч.1 – М.: Наука, 1992. – 336 с.
5. Петров М.Н. Вероятностно-временные характеристики в сетях и системах передачи интегральной информации: Научное издание. – Красноярск: ГТУ, 1997. – 220 с.

*Поступила в редакцию 15.09.2007*

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. В.М. Безрук, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков.