

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ МУЛЬТИСЕРВИСНОГО  
УЗЛА ДОСТУПА СЕТИ СЛЕДУЮЩЕГО ПОКОЛЕНИЯ**

**THE EXPLORATION OF THE MULTI SERVICE  
ACCESS NODE OF THE NEXT GENERATION NETWORK**

**Аннотация.** Рассмотрена модель инфокоммуникационной системы, адаптированная к требованиям NGN, проанализирован принцип внедрения мультисервисного узла доступа, которые полностью отражают концепцию построения сетей NGN. Получены количественные значения основных параметров качества обслуживания узла доступа. Обоснованы различные методы оценки вероятности потерь пакетов в узле доступа.

**Summary.** A model of the info communication systems that adapted to the requirements of NGN has been considered. The principle of Multi service Access node has been analyzed. This principle fully reflects a conception of the NGN networks building. The figural features of the main parameters of the service quality access node have been obtained. The various methods of assessment of likelihood of losses in the hub package have been justified.

С учетом зарубежных и отечественных тенденций развития телекоммуникационных систем, одной из главных проблем отрасли связи Украины и Азербайджана является создание мультисервисной сети связи, которая отвечала бы постоянно растущим требованиям пользователей к «качеству обслуживания» (QoS – Quality of Service) [1, 2, 3]. При этом необходимо решить задачи расчета пропускной способности и количественной оценки характеристик качества обслуживания трафика сети следующего поколения (NGN – Next Generation Network). Существующие методы ее решения, в основном для телефонной сети общего пользования (ТфОП), строятся на предположении об аппроксимации марковской моделью потоков Пуассона и Эрланга [4, 5]. Результаты многочисленных экспериментальных исследований трафика данных [6, 7] свидетельствуют о том, что трафики данных обладают весьма специфическими свойствами и не могут быть идентифицированы на удовлетворительном уровне в рамках классической теории массового обслуживания. В [7] исследовано и показано, что трафик данных в сетях с коммутацией пакетов обладает сомоподобными (фрактальными) свойствами.

Однако известная теория развития сети связи жестко связана с транспортом информации [8] при построении интегральных сетей, а именно рассматривается как взаимодействие соответствия общего процесса модернизации существующих сетей и внедрения сетей следующего поколения, а учитывая применяемые мультисервисные узлы доступа (МУД), недостаточно рассмотрены оценки параметров эффективности сетей, что имеет существенное значение для функционирования современных и будущих сетей в условиях быстрого увеличения объемов трафика, а также при изменении его качественных показателей.

**Цель статьи – исследовать параметры мультисервисного узла доступа сети следующего поколения.**

Сегодня модернизация сетей связи происходит на базе теории конвергенции, в соответствии с международными рекомендациями ITU и ETSI. ТфОП считается основной для перехода к сетям следующего поколения NGN и ее переход рассматривается ITU как поэтапный процесс. В рекомендациях серии Y (рек. Y.2001 и Y.2011) предложена модель инфокоммуникационной системы (рис. 1), которая включает четыре основных компонента:

- оборудование в помещении пользователя, которое может состоять как из одного терминала, так и представлять собой комплекс технических средств, образует одну и более сетей (ТА, ПК, ТВ, СТ);
- сеть абонентского доступа, которая обеспечивает подключение оборудования, находящегося в помещении пользователя, к транспортной сети;
- транспортную сеть, состоящую из совокупности коммутационных узлов и станций для организации местных, междугородных и международных соединений, а также обеспечивающую выход к средствам поддержки иных инфокоммуникационных услуг;
- средства поддержки инфокоммуникационных услуг, состоящих из аппаратно-программных средств и предназначенных для решения различных задач, которые связаны с получением, обработкой и передачей информации пользователю.

Модель (рис. 1), адаптивна до вимогам NGN. Концепція NGN передбачає, що перспективні конвергентні мережі будуть широко використовувати технологію IP (Internet Protocol) [8]. Тому розглядавана модель на рівні транспортної мережі орієнтована саме на технологію IP з підтримкою всіх показників якості обслуговування – QoS.

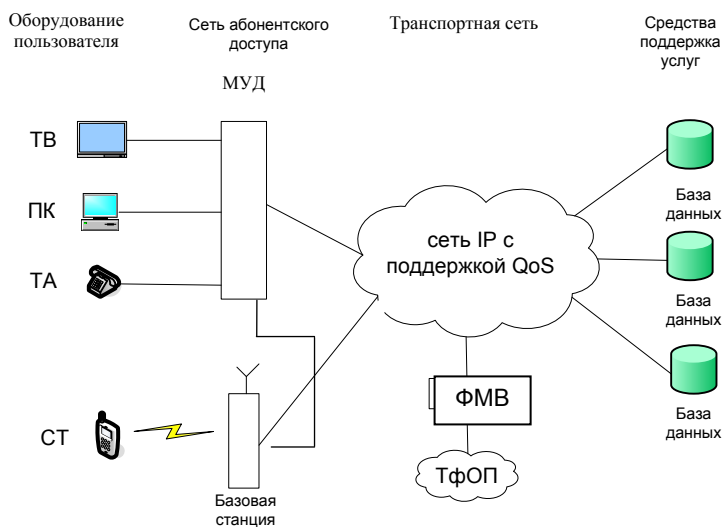


Рисунок 1 – Модель перспективной электросвязи, основанной на технологии IP:

ТВ – телевидение; ПК – персональный компьютер;  
 ТА – телефонный аппарат; СТ – сотовый (мобильный) телефон;  
 ФМВ – функции межсетевое взаимодействия

Модернізація структури ТфОП при переході до NGN забезпечується однією з головних задач впровадження мультисервісного вузла доступу. Важливою особливістю при використанні МУД є можливість поступового переходу від мережі загального користування, на базі комутації каналів (сигналізації ОКС № 7, EDSS-1, V5.2) до пакетних NGN мереж (протоколи SIP, H.323, H.248/MEGACO). При цьому МУД дозволяють надавати абонентський доступ по ТфОП до мереж передачі даних, а також до мереж NGN. Підключення до ТфОП забезпечується за допомогою різних інтерфейсів як V5 і PRI, а до мереж NGN – за допомогою інтерфейсів SIP, H.323 і H.248 [9].

Таким чином, пристрої МУД відображають характеристики перспективної мережі доступу, яка повністю реалізується в концепції побудови мереж наступного покоління.

Припустимо, що на вхід мультисервісного вузла доступу надходять потоки пакетів з різними законами розподілу часу обслуговування для різних систем масового обслуговування (СМО), відповідно до наступних законів розподілу [10, 11]:

- $M$  – марковська модель (експоненціальне розподілення інтервала часу);
- $D$  – детермінована величина інтервала часу;
- $E_r$  – ерлангівське розподілення  $r$ -го порядку;
- $G$  – довільне розподілення інтервала часу;
- $H_r$  – гіперпоказальне розподілення  $r$ -го порядку;
- $fBM$  – фрактальне (броунівське) рухання як модель для числа подій в одиницю часу.

Схема найпростішої моделі СМО представлена на рис. 2.

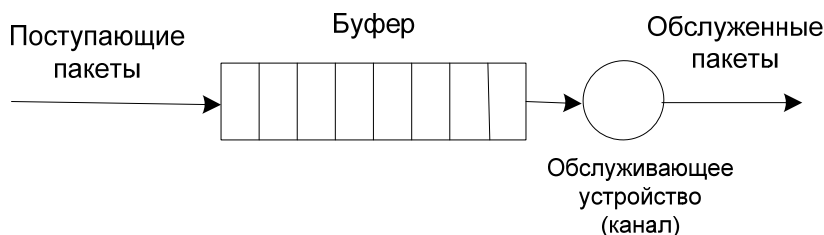


Рисунок 2 – Простейшая модель СМО

При расчёте параметров СМО введем следующие упрощающие допущения:

1. На вход МУД поступает поток пакетов с различным законом распределения интервалов времени между ними и интенсивностью в зависимости от числа абонентских терминалов, типа используемых речевых кодеков, количества кадров в пакетах и др.
2. Промежутки времени между последовательными пакетами являются независимыми и одинаково распределёнными случайными величинами.
3. Система содержит одну очередь (буфер, накопитель) ограниченной длины (СМО с ожиданием).
4. В системе одно обслуживающее устройство (выходной канал).
5. В системе используется простейший алгоритм обслуживания: «первым пришел – первым ушел» (FIFO) с ожиданием (СМО с потерями).

При этом задачу выбора производительности (пропускная способность) СМО можно сформулировать следующим образом. Пусть имеются множество  $A = \{\vec{a}_i\}$  пользователей сети – источников мультимедийной нагрузки различного класса (речь, данные, видео) и множество  $B = \{\vec{b}_i\}$  мультимедийных потоков, поступающих в систему:

$$\vec{a}_i = (\pi_i, \kappa_i, t_i, n_i),$$

$$\vec{b}_i = (\lambda_i, C_{bi}, H_i, T_{yi}),$$

где  $\vec{a}_i$  – вектор параметров различного класса мультимедийных пользователей, функционирующих в системе;  $\vec{b}_i$  – вектор параметров мультимедийных потоков, поступающих в систему;  $\pi_i$  – процент различного класса пользователей;  $\kappa_i$  – среднее количество вызовов в час наибольшей нагрузки;  $t_i$  – средняя длительности разговора;  $n_i$  – число пакетов, генерируемых различного класса пользователей;  $\lambda_i$  – интенсивность поступления пакетов различного класса пользователей;  $C_{bi}$  – коэффициент вариации (нормированная дисперсия) времени обслуживания пакета в системе;  $H_i$  – параметр Херста;  $T_{yi}$  – допустимая задержка пакета.

Определим вес различного класса пользователей в мультисервисном узле доступа.

*Первый класс* – это традиционные пользователи, которые составляют  $\pi_1 \approx 75\%$ . При этом они совершают в среднем  $\kappa_1 = 5$  вызовов в час средней длительностью  $t_1 = 2$  минуты.

*Второй класс* – те, которые пользуются голосовыми сервисами и сервисами передачи данных и составляют  $\pi_2 \approx 20\%$ . Нагрузка, создаваемая этими пользователями, складывается из двух составляющих: речевая и данные. Параметры речевой нагрузки совпадают с аналогичными параметрами для первого класса пользователей  $\kappa_2 = \kappa_1 = 5$  вызовов в час,  $t_2 = t_1 = 2$  минуты. Объём переданных данных в час наибольшей нагрузки ограничивается 10 Мбайт.

*Третий класс* пользователей (Triple Play), приносящих наибольший удельный доход, составляют  $\pi_3 \approx 5\%$ . Структуру трафика для этих пользователей складывают следующие составляющие: речевая, Интернет, видео. Параметры речевого трафика совпадают с аналогичными параметрами для второго класса, т.е.  $\kappa_3 = \kappa_2 = \kappa_1 = 5$  вызовов в час,  $t_3 = t_2 = t_1 = 2$  минуты. При расчёте трафика передачи данных необходимо учесть, что пользователи этой группы, как правило, активнее используют *ftp* и пиринговые сети. Допустим, что они потребляют до 100 Мбайт трафика. Время просмотра видео в час наибольшей нагрузки не более 60 минут.

Эффективность работы любой СМО характеризуется следующими параметрами: среднее количество пакетов, находящихся в системе; среднее время, которое пакеты находятся в системе; вероятность потерь пакетов из-за переполнения буферной памяти системы и др.

Среднее количество пакетов в системе  $\bar{N}$  равно произведению средней скорости поступления пакетов  $\lambda$  на среднее время пребывания пакета  $\bar{W}$  в системе (формула Литтла) [11].

$$\bar{N} = \lambda \bar{W}. \quad (1)$$

Это выражение не зависит от частных ограничений на систему (от законов распределения, алгоритмов обслуживания и т.д). Формула Литтла распространяется и на среднее количество пакетов в буфере  $\bar{N}_{оч}$

$$\bar{N}_{оч} = \lambda \bar{W}_{оч}, \quad (2)$$

где  $\bar{W}_{оч}$  – среднее время ожидания пакета в очереди.

Среднее время пребывания пакетов в системе складывается из среднего времени ожидания в очереди  $\bar{W}_{оч}$  и среднего времени обслуживания  $\bar{W}_{об}$ :

$$\bar{W} = \bar{W}_{оч} + \bar{W}_{об}. \quad (3)$$

Важнейшей характеристикой СМО является вероятность потерь (коэффициент потерь) пакетов в буфере, которая определена лишь для верхних и нижних пределов.

Для случая  $S_p > Q_p$  суммарная скорость поступающих пакетов  $S_p$  больше пропускной способности канала  $Q_p$  вероятность потерь пакетов в буфере может определяться приближенной зависимостью:

$$P_n \leq P(S_p > Q_p) = \int_{Q_p}^{\infty} f_{S_p}(x) dx, \quad (4)$$

где  $f_{S_p}(x)$  – плотность распределения вероятности суммарной скорости входящего потока.

Для случая систем с конечной емкостью буфера потеря пакетов при переполнении буферной памяти [11]:

$$P_n = P(N_{оч} = N'_{оч}), \quad (5)$$

где  $N_{оч}$  – действительное значение количества пакетов в буфере;  $N'_{оч}$  – максимальное количество пакетов в очереди.

Для случая превышения времени ожидания пакетов над допустимым временем обслуживания имеем:

$$P_n = P(W > T_y) = \int_{T_y}^{\infty} f_W(x) dx, \quad (6)$$

где  $W$  – действительное значение времени пребывания пакетов в МУД;  $T_y$  – допустимая задержка пакетов в МУД;  $f_W(x)$  – функция плотности распределения вероятности времени обслуживания пакетов в МУД.

Рассмотрим среднее количество пакетов  $\bar{N}$  и среднее время ожидания  $\bar{W}_{оч}$  в системе при поступлении пуассоновских и самоподобных потоков для различных моделей СМО.

После появления технологии на основе коммутации пакетов в многочисленных экспериментальных исследованиях обнаружили, что трафик обладает весьма специфическими свойствами и не может быть удовлетворительно описан в рамках классической теории массового обслуживания. Трафик данных в сетях с коммутацией пакетов обладает самоподобными, или фрактальными, свойствами. Самоподобие представляет собой свойство процесса сохранять свое поведение и внешние признаки при рассмотрении в разных масштабах. Непрерывный стохастический процесс  $X(t)$  считается статистически самоподобным с параметром  $H \left( \frac{1}{2} \leq H \leq 1 \right)$ , если для

любого положительного числа  $a$  процессы  $X(t)$  и  $a^{-H} X(at)$  будут иметь идентичные распределения [11].

В соответствии с постановкой задачи в одноканальную систему поступают не только пуассоновский поток с различными законами распределения времени обслуживания, но и самоподобный поток с детерминированным распределением. Поэтому для сравнения самоподобного потока с пуассоновским потоком, проанализируем некоторые параметры СМО. В [11] с использованием дробного броуновского движения в качестве модели самоподобного трафика была получена зависимость среднего размера буфера в одноканальной системе с самоподобным входящим потоком и детерминированным временем обслуживания от среднего коэффициента использования  $\rho$  и параметра Херста  $H$ :

$$\bar{N} = \rho \frac{\rho^{\frac{H-0,5}{1-H}}}{(1-\rho)^{1-H}}. \quad (7)$$

На рис. 3 представлений результат розрахунків залежності середнього числа пакетів в залежності від ступеня параметра Херста  $H$  і коефіцієнта використання  $\rho$ .

При великій ступені параметра Херста  $H$  деякі початкові значення середнього числа пакетів можуть бути досягнуті за рахунок зменшення коефіцієнта використання  $\rho$ .

В відповідності з формулою Полячека-Хінчина для середнього значення числа пакетів в системі моделі  $M/G/1$  маємо [11]:

$$\bar{N} = \rho + \rho^2 \frac{(1 + C_b^2)}{2(1 - \rho)}, \quad (8)$$

де  $C_b = \frac{\sigma_b}{W_{об}}$  – коефіцієнт варіації (нормована дисперсія) часу обслуговування пакета в системі.

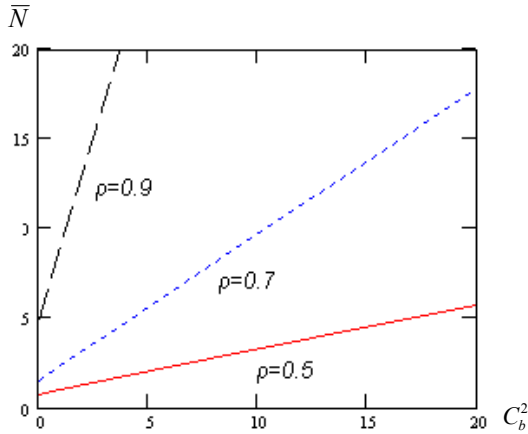


Рисунок 4 – Залежність середнього числа пакетів  $\bar{N}$  в системі від коефіцієнта варіації часу обслуговування пакета  $C_b^2$

На основі формули Полячека-Хінчина, були отримані вирази середнього числа пакетів в буфері для моделей з пуассоновськими входними потоками при умові різних законів часу обслуговування для різних значень  $C_b$  [10, 11]:

для  $C_b = 0; M/D/1;$  
$$\bar{N} = \frac{\rho}{(1 - \rho)} - \frac{\rho^2}{2(1 - \rho)}; \quad (9)$$

для  $C_b = 1/r, r > 1; M/E_r/1;$  
$$\bar{N} = \frac{\rho}{(1 - \rho)} \left( \frac{2 - \rho^2}{2} + \frac{\rho^2}{2r} \right); \quad (10)$$

для  $C_b = 1; M/M/1;$  
$$\bar{N} = \frac{\rho}{1 - \rho}; \quad (11)$$

для  $C_b^2 = 31/25; M/H_2/1;$  
$$\bar{N} = \frac{\rho}{1 - \rho} + \frac{0,12\rho^2}{1 - \rho}. \quad (12)$$

Таким чином, розрахунками доведено, що з збільшенням коефіцієнта варіації часу обслуговування пакетів в МУД збільшується їх середнє число в системі  $\bar{N}$ .

Використовуючи (8) і враховуючи, що  $\rho = \lambda \bar{W}_{об}$ , з застосуванням формули Литтла отримуємо вираз для визначення середнього часу знаходження пакета в системі моделі  $M/G/1$ :

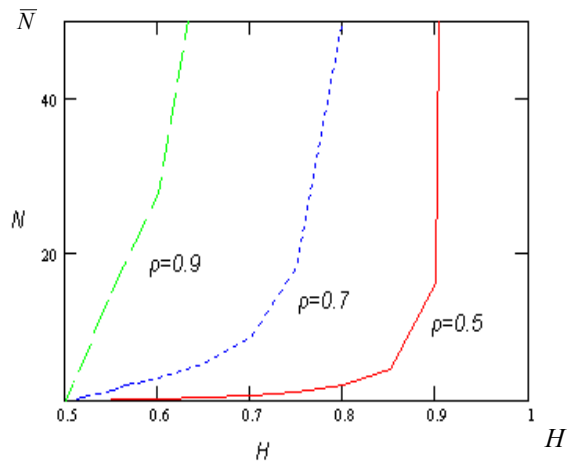


Рисунок 3 – Залежність середнього числа пакетів в системі від параметра Херста

На рис. 4 представлені результати розрахунку середнього числа пакетів в системі в залежності від квадрата коефіцієнта варіації часу обслуговування для різних значень коефіцієнта використання системи моделі  $M/G/1$ . З рисунка видно, що середнє число пакетів в системі лінійно залежить від квадрата коефіцієнта варіації часу обслуговування, і його вплив збільшується з збільшенням коефіцієнта використання системи.

Необхідно зауважити, що коефіцієнт варіації є одним з найважливіших показників для одноканальної СМО. Даний коефіцієнт визначається як відношення стандартного відхилення  $\sigma_b$  до середнього часу обслуговування пакета  $\bar{W}_{об}$ .

$$\bar{W} = \bar{W}_{oc} + \frac{\rho \cdot \bar{W}_{oc}(1 + C_b^2)}{2(1 - \rho)} \quad (13)$$

Приравняв правые части (3) и (13) получим среднее время пребывания пакетов в очереди для модели  $M/G/1$ :

$$\bar{W}_{oc} = \frac{\rho \cdot \bar{W}_{oc}(1 + C_b^2)}{2(1 - \rho)} \quad (14)$$

Среднее время ожидания в буфере для СМО разных моделей определяется следующими формулами:

для  $M/D/1$ : 
$$\bar{W}_{oc} = \frac{\rho^2}{2\lambda(1 - \rho)}; \quad (15)$$

для  $M/E_r/1$ : 
$$\bar{W}_{oc} = \frac{1,5\rho^2}{2\lambda(1 - \rho)}; \quad (16)$$

для  $M/M/1$ : 
$$\bar{W}_{oc} = \frac{\rho^2}{\lambda(1 - \rho)}; \quad (17)$$

для  $M/H_r/1$ : 
$$\bar{W}_{oc} = \frac{1,12\rho^2}{\lambda(1 - \rho)} \quad (18)$$

для самоподобного потока  $fBM/D/1$ :

$$\bar{W}_{oc} = \rho \frac{\rho^{\frac{1}{2(1-H)}}}{\lambda(1 - \rho)^{1-H}} \quad (19)$$

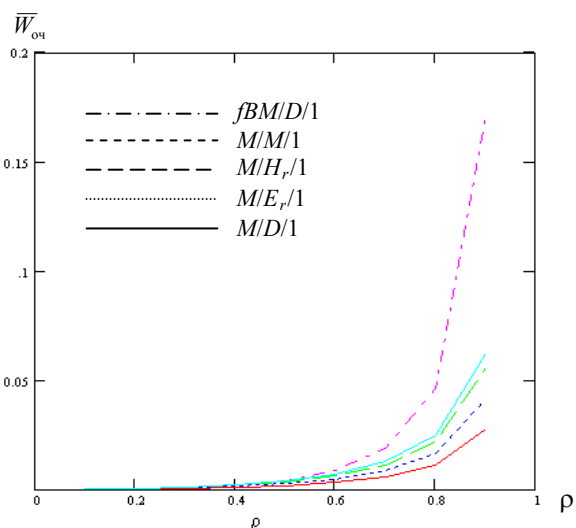


Рисунок 5 – Зависимость среднего времени пребывания пакетов  $\bar{W}_{oc}$  в очереди от коэффициента использования  $\rho$

На рис. 5 приведены результаты расчетов зависимости среднего времени пребывания пакетов  $\bar{W}_{oc}$  в очереди от коэффициента использования системы  $\rho$  для различных моделей СМО.

В дальнейшем расчет оценки вероятности потерь пакетов рассмотрим только для пользователей первого класса, при этом допустимое время обслуживания пакетов в буфере равно 20 мс [1].

Воспользуемся методом оценки вероятности потерь пакетов в системе по критерию превышения времени обслуживания. В соответствии с теоремой Кроммелина вероятность превышения допустимого времени обслуживания пакета модели  $M/D/1$  равна [5]:

$$P_n = P(W_{oc} > T_y) = 1 - (1 - \rho) \sum_{k=0}^{[T_y]} \frac{[\rho(k - T_y)]^k}{k!} \cdot e^{\rho(T_y - k)} \quad (20)$$

На рис. 6 приведены зависимости вероятности превышения допустимого времени обслуживания пакета при различных значениях  $\rho$  для СМО моделей  $M/D/1$  и  $M/M/1$ .

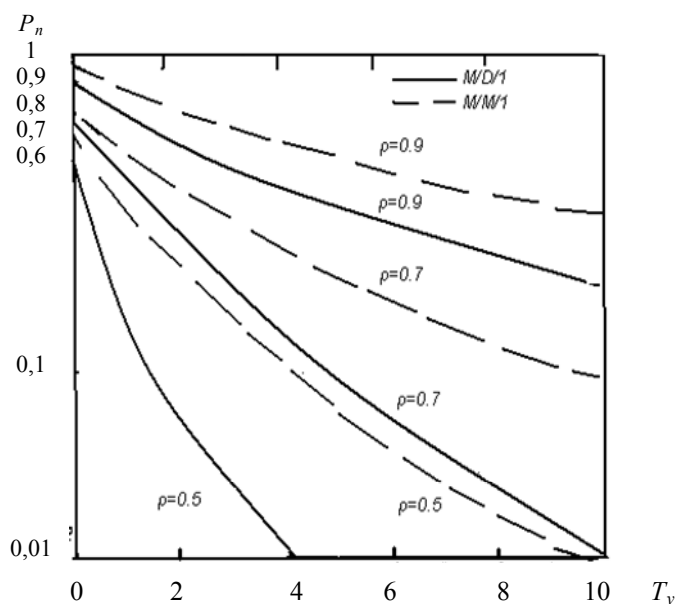


Рисунок 6 – Зависимость вероятности превышения допустимого времени обслуживания пакета модели  $M/D/1$  и  $M/M/1$

Для определения максимальной длины очереди (объема буфера)  $\bar{N}'_{оч}$  модели  $M/D/1$  использовалось следующее выражение:

$$N'_{оч} = \frac{[W'_{оч}]}{W_{об}}. \tag{21}$$

Функция распределения величины задержки пакетов модели  $M/M/1$  вычисляется по формуле [11]:

$$P(W \leq T_y) = 1 - e^{-\mu(1-\rho)T_y}. \tag{22}$$

Из выражения (22) получена формула для определения вероятности потерь пакетов из-за превышения времени обслуживания модели  $M/M/1$ :

$$P_n = P(W > T_y) = e^{-\mu(1-\rho)T_y}. \tag{23}$$

Для определения длины буфера  $N'_{оч}$  модели  $M/M/1$  в зависимости от допустимой вероятности потерь пакетов воспользуемся формулой для нахождения распределения стационарных вероятностей числа пакетов с ограниченной емкостью буфера [11]:

$$P_n = P(N_{оч} = N'_{оч}) = \frac{(1-\rho)\rho^{N'_{оч}}}{1-\rho^{N'_{оч}+1}}. \tag{24}$$

На рис. 7,а представлены графики зависимости вероятности потерь пакетов в буфере от максимально-допустимого времени их обслуживания  $T_y$ , а на рис. 7,б – вероятность потерь в буфере от объема буфера  $\bar{N}'_{оч}$  для фиксированных значений коэффициента использования  $\rho$ .

Имея значения максимальной задержки и вероятности потерь пакетов по формулам (23), (24) можно определить максимальный объем буферной памяти для различных значений коэффициента использования МУД.

В заключение сформулируем основные результаты работы.

Рассмотрена модель инфокоммуникационной системы, содержащая в себе четыре основных компонента, адаптированных к требованиям NGN, а также определены принципы внедрения мультисервисного узла доступа, который полностью вписывается в концепцию построения сетей следующего поколения.

Определены числовые значения основных параметров СМО, такие, как среднее время задержки, вероятность потерь пакетов. Результаты расчетов подтверждают, что среднее время задержки пакетов в буфере зависит от коэффициента вариации времени их обслуживания и параметра Херста.

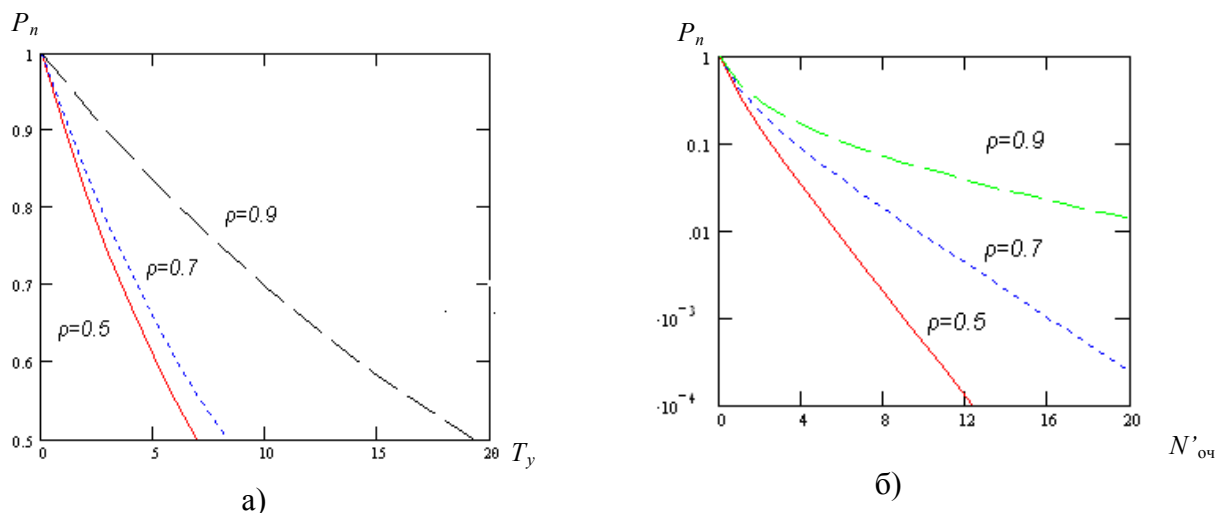


Рисунок 7 – а) зависимости вероятности потерь пакетов в буфере от максимально допустимого времени их обслуживания  $T_y$ ;  
 б) объема буфера  $\bar{N}'_{oc}$  для фиксированных значений коэффициента использования  $\rho$

Подтверждено, что модель  $M/M/1$  в среднем содержит на  $\rho^2/2(1-\rho)$  пакетов больше, чем модель  $M/D/1$  и в  $(1-\rho/4)$  раз больше, чем модель  $M/E_r/1$ .

Проведено сравнение различных методов оценки вероятности потерь пакетов в МУД. Данные методы могут использоваться для точной или приближенной оценки вероятности потерь пакетов.

### Литература

1. *Руководящий* технический материал. Принципы построения мультисервисных местных сетей электросвязи / Версия 2. – 2005.
2. *Тесля В.Я., Бабосюк А.А., Сикорский В.В., Рудниченко А.Е.* Концептуальные подходы к технологии сетей нового поколения NGN // *Зв'язок*. – 2004. – № 2. – С. 70-73.
3. *Рокотян А.Ю.* Перспективы конвергенции сетей электросвязи в России // *Вестник связи*. – 2000. – № 1. – С. 32-35.
4. *Гнеденко Б.В., Коваленко И.Н.* Введение в теорию массового обслуживания. – 2-е изд. – М.: Наука. – 1987. – 336 с.
5. *Лившиц Б.С., Фидлин Я.В., Харкевич А.Д.* Теория телефонных и телеграфных сообщений. – М.: Связь, 1971. – 304 с.
6. *Paxson V. and Floyd S.* Wide Area traffic: The Failure of Poisson Modeling // *IEEE/ACM Transactions on Networking*. – 1995. – V.3. – № 3.
7. *Garrett M., Willinger W.* Analysis, Modeling and Generation of Self-Similar VBR Video Traffic // *Proceedings, SIGCOMM'94*, august 1994.
8. *Виноградов Н.А.* Анализ потенциальной характеристики устройств коммутации и управления сетей новых поколений // *Зв'язок*. – 2004. – № 4. – С. 10-17.
9. *Ганифаев Р.А.* Модернизация телефонной сети общего пользования на основе концепции NGN // *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. – Харьков, 2007. – 6(30). – С. 32-35.
10. *Клейнрок Л.* Теория массового обслуживания. – М.: Машиностроение, 1979. – 425 с.
11. *Крылов В.В., Самохвалова С.С.* Теория телетрафика и ее приложения. – С.Пб.: BHV. – 2005. – 288 с.