

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СЕТЕЙ ДОКУМЕНТАЛЬНОГО ОБМЕНА

к.т.н. С.А. Турко, к.т.н. Л.А. Фомин, С.Н. Зданевич, А.И. Ватага, Н.Н.Гахова  
(представил проф. А.В. Королёв)

*Рассмотрены вопросы исследования моделей трафика и расчета оптимальных пропускных способностей звеньев широкополосных цифровых сетей с интеграцией служб (Ш-ЦСИС), возникающие при реализации технологии АТМ в сетях документального обмена.*

Проблемы интеграции различных видов связи, включая информационный, системный и сетевой аспекты, в течение последних лет остаются наиболее актуальными в области телекоммуникаций. В настоящее время все меньше остается областей коммуникационного мира, куда не проникли бы IP - технологии. Под влиянием новых задач и областей применения, классические IP-технологии динамично развиваются, представляя собой наиболее актуальные направления сетевой инженерии. Производители коммутационного оборудования стараются с максимальной оперативностью реализовать постоянно изменяющиеся свойства IP - технологии. Маршрутизаторы, коммутаторы и устройства доступа сегодня выполняют функции ускоренной маршрутизации, быстрой коммутации пакетов, управляют качеством обслуживания, защищают передаваемые данные с помощью виртуальных частных сетей (VPN) и позволяют эффективно организовывать групповое вещание.

Приобретение дорогостоящего сетевого оборудования оказывает долговременное влияние на сеть. Даже если некоторые свойства IP - технологии сегодня не нужны, то с появлением новых приложений, эти свойства могут стать необходимыми в ближайшем будущем, поэтому их игнорирование может дорого обойтись, так как потребует замены значительной части сетевых устройств.

Очень важно реально оценивать перспективность каждой технологии и тенденции ее развития, правильно ее позиционировать. Одна и та же технология может хорошо работать на магистрали сети и показывать неудовлетворительные результаты на ее периферии. Например, перспективность применения технологии АТМ в корпоративной сети подтверждается устойчивым ростом продаж АТМ – оборудования за счет высокой эффективности механизма поддержки показателей качества (QoS), который создает прочный фундамент для работы IP - сети поверх магистрали АТМ. Существует большое число проектов корпоративных сетей,

основанных на последних моделях коммуникационного оборудования ведущих производителей [1 – 4].

Сеть должна гарантировать не только быструю доставку пакетов к месту назначения, но и обеспечивать получение пакетов только аутентифицированным пользователям. При этом заинтересованные пользователи, кроме адресата, не должны иметь возможности доступа к этим данным на пути следования, ни при хранении их в конечных узлах, то есть сеть должна обеспечивать безопасность передаваемых и хранимых данных. Для создания корпоративной сети, обладающей подобными свойствами, нужны новые технологии и протоколы. Крупная сеть должна обладать рациональной структурой, обеспечивающей компромисс между потребностями трафика пользователей в пропускной способности и надежностью сети связи, возможностями сетевого оборудования и наличным бюджетом.

С системных позиций – необходима транспортная система, способная единым способом транспортировать все виды информации, распределяя свои ресурсы на динамической основе оптимальным образом и при этом должна:

- быть гибкой и адаптироваться к изменению уровня требований пользователей, к объему, скорости и качеству обслуживания;

- максимально эффективно использовать транспортные ресурсы;

- иметь допустимые затраты на проектирование и эксплуатацию.

Такой транспортной системой может быть Ш-ЦСИС с технологией АТМ, режим которой может поддерживаться в любой цифровой системе передачи, так как определяет протоколы на уровне выше физического. Гибкость сети обеспечивается за счет того, что любой источник может генерировать информацию с той скоростью, которая ему необходима, что дает возможность постоянного совершенствования алгоритмов кодирования и сжатия информации с целью уменьшения требуемой полосы пропускания, появления новых служб с неизвестными характеристиками. Все имеющиеся ресурсы сети могут использоваться всеми службами, что дает возможность их оптимального распределения на статистической основе, обеспечивающей высокую эффективность использования сетевых ресурсов.

Такая единая сеть сокращает затраты на проектирование и управление. Телекоммутиационное оборудование (коммутаторы, маршрутизаторы, мультиплексоры) Ш-ЦСИС с технологией АТМ обеспечивают равномерное представление информации в виде коротких пакетов фиксированной длины (ячеек), которые по виртуальному каналу доставляются по назначению в режиме быстрой коммутации пакетов (БКП). Таким образом интеграция всех видов связи в рамках единой мультисервисной сети делает Ш-ЦСИС с АТМ самой перспективной концепцией телекоммутиаций. Однако, несмотря на практическую реализацию идеи технологии АТМ, можно выделить несколько проблем, требующих решения:

- 1) исследование моделей трафика;
- 2) расчет оптимальных пропускных способностей звеньев сети;
- 3) организация скоростного удаленного доступа;
- 4) управление трафиком и битовыми потоками;
- 5) защита информации в публичной сети.

Не вызывает сомнения, что функции новых технологий с учетом тенденций развития и свойствами расширения и масштабируемости могут удовлетворить потребности любой сети документального обмена по техническим возможностям, за исключением, может быть безопасности конфиденциальной информации.

Однако вопрос об экономической целесообразности применения серийного оборудования передовых фирм – производителей продуктов предполагаемой к использованию технологии остается открытым и требует специального исследования на более высоком уровне компетенции.

Тем не менее, в данной статье сделана попытка решения двух первых проблем, возникающих при реализации технологии АТМ, а именно: исследование моделей трафика;

расчет оптимальных пропускных способностей звеньев Ш-ЦСИС.

## 1. Учет влияния спектральных свойств трафика на параметры сети с технологией АТМ

Скорость передачи информации, доступная пользователю конкретной службы широкополосной ЦСИС, представляет собой стохастический процесс  $\xi(t)$  и имеет вероятностное описание. В силу физических причин всегда существует ограничение максимальной скорости передачи [2]:

$$\xi_{\max} = \max \xi(t).$$

Средняя скорость передачи информации за время сеанса равна

$$m = M[\xi(t)] = \frac{1}{T} \int_0^T \xi(t) dt.$$

Отношение  $B = r_{\max}/m$  получило название *берстности* (коэффициента пачечности).

В Ш-ЦСИС при использовании технологии АТМ *берстность* является одной из основных характеристик трафика, позволяющая оценить необходимую пропускную способность звеньев сети связи.

Однако данная характеристика не дает возможности оценить скорость развития случайного процесса  $\xi(t)$  во времени, так как не связана его спектральными, а, следовательно, корреляционными свойствами. Чтобы каким – то образом учесть временной масштаб случайной функции  $\xi(t)$  в соответствии с рекомендациями Международного союза элек-

тросвязи (МСЭ) для описания скорости передачи информации введена еще одна характеристика трафика – среднее время пика  $T_p$ .

Из анализа случайных процессов следует, что длительность выброса зависит от уровня, на котором проводится измерение, однако в рекомендациях МСЭ отсутствуют соображения по выбору этого уровня.

Обоснованный выбор величины уровня измерений длительности пика даст возможность однозначно определить такие параметры сети АТМ, как необходимый объем буферной памяти, уточнить понятие эквивалентной ширины полосы битовых скоростей передачи (ШПБСП) для класса пользователей с трафиком ИСП, а также оценить частоту пульсаций времени задержки (джиттер).

Основные теоретические положения базируются на теории выбросов случайных процессов.

На рис. 1.1 приведена реализация случайного процесса  $\xi(t)$  длительностью  $T$  (например, длительность сеанса связи), где  $C$  – фиксированный уровень,  $\tau$  – длительность выброса,  $s$  – площадь выброса.

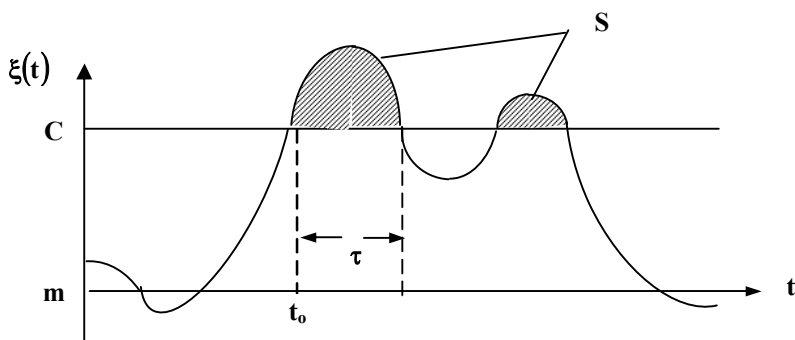


Рис.1.1. Реализация случайного процесса  $\xi(t)$

Реальные случайные процессы представляют собой непрерывные функции времени с ограниченным спектром в силу инерционных свойств, как самого источника сообщения, так и устройств обработки, действующих как фильтр нижних частот. В частности понятие краткие и длительные сообщения и паузы между ними относительно и зависит от быстродействия средств реализации системы коммутации. Источник трафика считается пульсирующим, если суммарное время на установление и разединение сквозного канала меньше интервала появления следующего сообщения. Эти соображения дают основания в дальнейшем пользоваться при выводе основных формул параболической аппроксимацией.

Такие функции имеют конечное число максимумов и минимумов на ограниченном интервале времени  $T$ .

Реализация  $\xi(t)$  может несколько раз пересекать уровень  $C$  снизу вверх (с положительной производной). Число таких пересечений соответствует числу положительных выбросов случайного процесса над уровнем  $C$ , для которого теория дает достаточно строгое математическое выражение [3]:

$$N^+(C, T) = \int_0^T dt \int_0^{\infty} \xi' P(C, \xi'; t) d\xi', \quad (1.1)$$

где штрих означает дифференцирование по  $t$ .

Для стационарных случайных процессов формула (1.1) значительно упрощается и принимает вид

$$N^+(C, T) = P(C) \int_0^{\infty} \xi' P(\xi') d\xi'. \quad (1.2)$$

Формула (1.2) дает возможность определить среднее число выбросов для произвольного закона распределения случайного процесса  $\xi(t)$ .

Если гауссов процесс стационарен, то среднее значение полного числа пересечений процессом уровня  $C$  в единицу времени равно

$$N(C) = \frac{1}{\pi} \sqrt{-\rho_0''} \cdot \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{c-m}{\sigma} \right)^2 \right], \quad (1.3)$$

где  $\rho_0''$  - вторая производная от коэффициента корреляции;  $\sigma$  - СКО.

При достаточно высоких уровнях  $C > 0$  подавляющая часть выбросов имеет малую длительность и равна числу максимумов, превышающих уровень  $C$ . Плавно изменяющийся (дифференцируемый) случайный процесс  $\xi(t)$  в небольшой окрестности максимума можно аппроксимировать параболой. Пусть  $t_0$  - момент времени начала положительного выброса, т.е.  $\xi(t_0) = C, \xi'(t_0) > 0$ . Разложим функцию  $\xi(t)$  в ряд Тейлора в окрестности точки  $t_0$  и ограничимся квадратичным членом

$$\xi(t) = \xi(t_0) + \xi'(t_0)(t-t_0) + \frac{1}{2} \xi''(t)(t-t_0)^2. \quad (1.4)$$

Учитывая, что  $\xi(t_0) = \xi(t_0 - \tau) = C$ , получим

$$\tau = -\frac{2\xi'(t)}{\xi''(t)}. \quad (1.5)$$

Таким образом, задача сводится к вычислению совместной плотности вероятности  $W_0(\xi', \xi'')$  начальных производных.

Применяя полученные соотношения к нормальному стационарному

процессу с функцией корреляции  $\mathbf{K}(\tau) = \sigma^2 \cdot \mathbf{r}(\tau)$ , получим плотность вероятности длительностей выбросов при высоких положительных уровнях  $C$ :

$$P(\tau, C) = \frac{1}{4} \left( -\rho_0'' \right) \frac{C^2}{\sigma^2} \tau \exp \left[ -\frac{1}{8} \left( -R_0'' \right) \frac{C^2 \cdot \tau^2}{\sigma^2} \right]. \quad (1.6)$$

Параболическая аппроксимация формы выбросов позволяет найти распределение выбросов по площади

$$S = \int_{t_0}^{t_0 + \tau} [\xi(t) - C] dt. \quad (1.7)$$

С учетом выражения (1.4)

$$S = \frac{2}{3} \left( \xi_0' \right)^3 \left( \xi_0'' \right)^2. \quad (1.8)$$

При известной совместной плотности вероятности  $W_0(\xi_0', \xi_0'')$  для первой и второй производных в момент начала положительного выброса на уровне  $C$  плотность вероятности распределения выбросов по площади равна

$$P(S, C) = \frac{1}{3} \lambda^{2/3} S^{-1/3} \exp \left[ -\frac{1}{2} (\lambda S)^{2/3} \right], \quad (1.9)$$

где

$$\lambda = \frac{2}{3} \frac{C^2}{\sigma^3} \sqrt{-\rho_0''}; \quad (1.10)$$

$C \gg \sigma$ .

Полученная формула (1.9) является чрезвычайно важной, поскольку площадь выброса можно рассматривать как необходимый объем буферной памяти в узлах коммутации, чтобы избежать потери ячеек в случае отсутствия требуемой ШПБСП, причем уровень  $C$  в этом случае определяет доступную скорость передачи. Задержанные в памяти ячейки могут быть переданы в моменты снижения интенсивности трафика ниже указанного уровня, причем допустимое время задержки очевидно определится из требований временной прозрачности сети, гарантирующей установленное качество обслуживания абонента, пользующегося услугами соответствующей службы.

Определим среднее значение площади выброса

$$S_{cp} = [MP(C, S)] = \frac{1}{3} \int_0^{\infty} S \cdot \lambda^{2/3} S^{-1/3} \exp \left[ -\frac{1}{2} (\lambda S)^{2/3} \right] ds = \sqrt{\frac{\pi}{2}} \cdot \frac{3}{\lambda}$$

или с учетом (1.10)

$$S_{\text{cp}} = \sqrt{\frac{\pi}{2}} \cdot \frac{9C^2}{2\sigma^3} \sqrt{-\rho_0''} . \quad (1.11)$$

Среднее значение длительности выброса, определяющее дополнительную задержку вследствие хранения избыточных ячеек в буферной памяти, равно

$$\tau_{\text{cp}} = \frac{2\pi\sigma^2}{\sqrt{-\rho_0''} \cdot C} . \quad (1.12)$$

В качестве примера рассмотрим наиболее распространенный коэффициент корреляции для широкополосного сигнала

$$\rho(\tau) = (1 + \alpha|\tau|)e^{-\alpha(\tau)}, \quad (1.13)$$

для которого  $\sqrt{-\rho_0''} = 8\Delta f_3$ , где  $\Delta f_3$  – эффективная ширина полосы телевизионного сигнала.

Выражения (1.3),(1.6),(1.9) с учетом (1.13) принимают вид:

$$\begin{aligned} N(C) &= A\Delta f_3 \exp\left[-\frac{1}{2} \frac{(C-m)^2}{\sigma}\right]; \\ P(\tau, C) &= 2B\Delta f_3 \cdot C^2 \cdot \tau \exp\left[-B\Delta f_3 \left(\frac{C\tau}{\sigma}\right)\right]; \\ \lambda &= D \cdot \frac{C^2}{\sigma^3} \Delta f_3, \end{aligned} \quad (1.14)$$

причем значения констант **A**, **B**, **D** в зависимости от вида функций корреляции меняются в следующих пределах:

$$\mathbf{A} = 1,13 \div 2, 82;$$

$$\mathbf{B} = 0,44 \div 1,10;$$

$$\mathbf{D} = 2,36 \div 5,9.$$

Окончательные выражения средних значений длительности выброса и его площади для функции корреляции телевизионного сигнала вида

$$R(\tau) = \sigma^2 e^{-2\tau}$$

можно представить как:

$$\tau_{\text{cp}} = \sqrt{\frac{\pi}{2}} \frac{\sigma}{C \cdot \Delta f_3}; \quad (1.15)$$

$$S_{cp} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\sigma^3}{\Delta f_s} \quad (1.16)$$

Таким образом, комбинируя (1.16) и (1.17), можно найти в среднем соотношение между длительностью выброса и его площадью

$$S_{cp} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \frac{\sigma^2}{C} \cdot \tau_{cp} \quad (1.17)$$

Если  $S_{cp}$  отождествлять с необходимым объемом буферной памяти  $\bar{S}_6$ , то средний объем памяти выражается через среднее время пика как

$$\bar{S}_6 = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \frac{\sigma^2}{C} \cdot \tau_{cp} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \frac{\sigma^2}{C} \cdot T_p \quad (1.18)$$

или с учетом длины ячейки АТМ в 53 октета, можно оценить требуемое количество мест в очереди

$$\bar{m}_6 = 0,75 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{\sigma^2}{C} \cdot T_p, \quad (1.19)$$

причем СКО  $\sigma$  и уровень  $C$  измеряются в кбит/с.

Однако в практических задачах вряд ли целесообразно связывать необходимый объем буферной памяти со средним значением площади выброса, так как это ожесточает требования к системе связи. Можно определить уровень ограничения  $C = C_n$  таким образом, чтобы площадь выброса с вероятностью  $P_0$  не превышала заданную величину  $S_n$ , совместимую с наличными ресурсами сети. Вероятность появления выброса, имеющего площадь, превышающую заданную величину в соответствии с выражением (1.9), имеет вид

$$P_0(S) = P(S \leq S_n) = 1 - \int_{+S_n}^{\infty} P(S, C) dS = 1 + e^{-\frac{1}{3} \lambda^{2/3} S_n^{2/3}}, \quad (1.20)$$

где  $\lambda$  определяется формулой (1.15). Кривые зависимости (1.20) при  $\lambda = \text{const}$  представлены на рис. 1.2.

Они позволяют определить порог  $e_n$ , определяющий допустимую скорость передачи для каждой службы, задавая значениями  $\rho_0$  и  $S_n$ , по которым параметр  $\lambda_n$  определяется однозначно:

$$C_n = \sqrt{\frac{\lambda_n \cdot \sigma^3}{D \cdot \Delta t_s}}, \quad (1.21)$$

где порог  $C_n$  отсчитывается от среднего значения трафика  $\xi(t)$ , т.е.  $C_n = C - m$ ,



соответствует геометрическому месту точек кривой (1.20), проходящей через точку пересечения прямых  $P_0 = \text{const}$  и  $S_n = \text{const}$ .

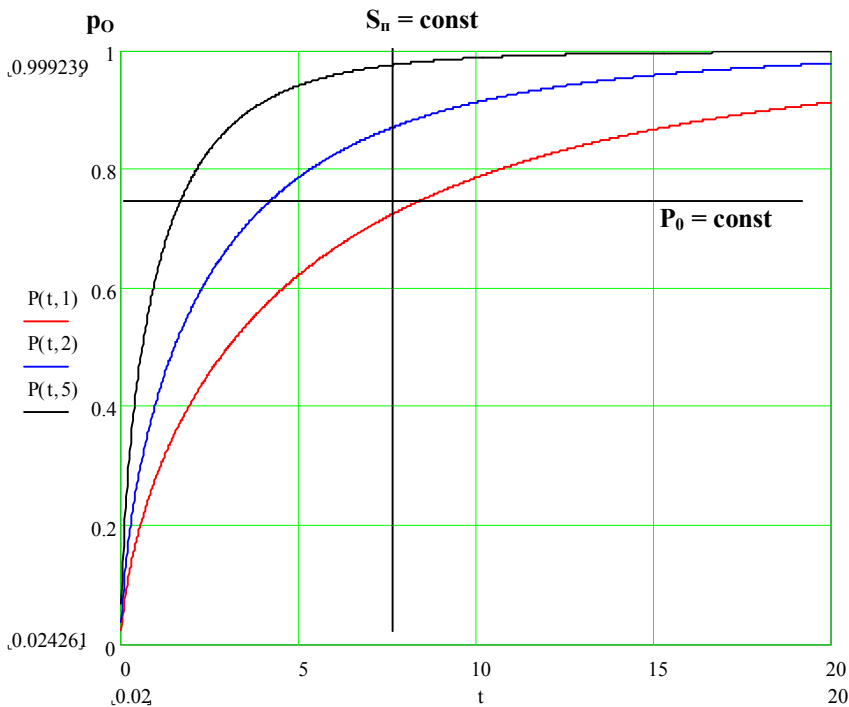


Рис. 1.2. Кривые вероятности появления выброса с площадью, превышающей заданную величину ( $\lambda = \text{const}$ )

Таким образом установлена связь между спектральными свойствами трафика и основными параметрами Ш – ЦСИС с технологией АТМ, рекомендованными международным союзом электросвязи. На основе теории выбросов случайных процессов получены основные расчетные соотношения для классов трафика, представляемого в виде стационарного нормального случайного процесса с известными средними значениями (дисперсией  $\sigma^2$  и математическим ожиданием  $m$ ) и известной функцией корреляции. Полученные соотношения для среднего числа выбросов в единицу времени, средних значений длительности выброса и площади выброса позволяют оценить допустимые границы временной и семантической прозрачности сети. Полученные результаты могут быть использованы для определения допустимой скорости передачи для трафика класса **D** при неспецифицированной битовой скорости передачи, используя для этих целей наличные ресурсы [4].

## 2. Расчет пропускных способностей звеньев Ш-ЦСИС с технологией АТМ при мультисервисном обслуживании

При создании широкополосных мультисервисных телекоммуникационных сетей связи (Ш-ЦСИС) фундаментальной проблемой остаётся эффективное использование узловых и канальных ресурсов сети при обеспечении требуемого качества обслуживания пользователей (QoS) [5 – 8].

Цель- разработка метода расчёта оптимальных пропускных способностей звеньев Ш-ЦСИС, совместимого с технологией АТМ и мультисервисным обслуживанием, обеспечивающим минимальное время доставки информации при заданной вероятности потерь.

Каждое звено моделируется в виде системы массового обслуживания  $M / M / n$  с ограниченной очередью, то есть  $n$ -канальная СМО с ожиданием, на которую поступает пуассоновский поток заявок с суммарной интенсивностью  $\lambda$ , интенсивностью обслуживания для каждого канала  $\mu$  и числом мест в очереди  $m$ . Очереди связываются с входом в каждое звено, образованное пучком из  $n$  каналов и коллективно используемой памятью в каждом направлении, содержащей  $m$  ячеек памяти (буферов).

Для каждого звена среднее число занятых каналов определяется следующим выражением [8]:

$$\bar{z} = \rho \cdot \left( 1 - \frac{\rho^{n+m}}{n^m \cdot n!} \cdot P_0 \right), \quad (2.1)$$

где  $\rho = \lambda / \mu$  - приведённая интенсивность потока заявок (коэффициент загрузки канала).

Среднее число заявок, находящихся в очереди, может быть найдено по следующей формуле:

$$\bar{r} = \frac{(n \cdot \chi)^{n+1} \cdot P_0}{n \cdot n!} \cdot \sum_{\alpha=1}^m \alpha \cdot \chi^{\alpha-1}, \quad (2.2)$$

где  $\chi = \rho / n$ .

В формулах (2.1), (2.2) значение  $P_0$  определяется следующим выражением:

$$P_0 = \left[ \sum_{\alpha=0}^n \frac{\rho^\alpha}{\alpha!} + \frac{\rho^n}{n!} \sum_{\alpha=1}^m \left( \frac{\rho}{n} \right)^\alpha \right]^{-1} = \left[ \sum_{\alpha=0}^n \frac{(n \cdot \chi)^\alpha}{\alpha!} + \frac{(n \cdot \chi)^n}{n!} \sum_{\alpha=1}^m \chi^\alpha \right]^{-1}. \quad (2.3)$$

Суммируя выражения (2.1) и (2.2), получим среднее число заявок, находящихся в СМО

$$\bar{w} = \bar{z} + \bar{r}. \quad (2.4)$$

Вероятность отказа в обслуживании (потеря ячеек), когда заняты все каналы и все места в очереди, равна

$$P_{\text{отк}} = \frac{\rho^{n+m}}{n! \cdot n^m} \cdot P_0. \quad (2.5)$$

Зафиксируем вероятность отказа на некотором допустимом уровне

$$P_{\text{отк}} \leq P_{\text{отк}}^{\text{доп}}, \quad (2.6)$$

тогда для предельного значения  $P_{\text{отк}}^{\text{доп}}$  из выражения (2.5) определим  $P_0$ :

$$P_0 = \frac{n! \cdot n^m}{(n \cdot \chi)^{n+m}} \cdot P_{\text{отк}}^{\text{доп}}. \quad (2.7)$$

Используя соотношение (2.7) произведем упрощение выражений (2.1) и (2.2):

$$\bar{r} = P_{\text{отк}}^{\text{доп}} \cdot \sum_{\alpha=1}^m \alpha \cdot \chi^{-(m-\alpha)}; \quad (2.8)$$

$$\bar{z} = n \cdot \chi \cdot \left(1 - P_{\text{отк}}^{\text{доп}}\right). \quad (2.9)$$

И, наконец, используя соотношение (2.4), получим выражение для среднего числа заявок в СМО

$$\bar{W} = n \cdot \chi \cdot \left(1 - P_{\text{отк}}^{\text{доп}}\right) + P_{\text{отк}}^{\text{доп}} \cdot \sum_{\alpha=1}^m \alpha \cdot \chi^{-(m-\alpha)}. \quad (2.10)$$

Соотношение (2.10) справедливо для любого звена изотропной сети, в которой плотность потока передаваемой информации  $\rho$  не зависит от направления передачи. Однако в анизотропных сетях независимая переменная  $\chi$  и значения  $m$  и  $n$ , а в общем случае и вероятность  $P_{\text{отк}}^{\text{доп}}$ , зависят от направления передачи для каждого  $i$ -го звена, так, что

$$\bar{W}_i = n_i \cdot \chi_i \cdot \left(1 - P_{\text{отк}i}^{\text{доп}}\right) + P_{\text{отк}i}^{\text{доп}} \cdot \sum_{\alpha=1}^{m_i} \alpha \cdot \chi_i^{-(m_i-\alpha)}, \quad i = \overline{1, k}, \quad (2.11)$$

где  $k$  – общее число звеньев сети связи.

На основании формулы Литтла, согласно клейнроковской аппроксимации независимостью [9], можно записать

$$\gamma \cdot \bar{T}_{\text{зад}} = \sum_{i=1}^k \bar{W}_i, \quad (2.12)$$

где  $\gamma$  - общий трафик в сети;  $\bar{T}_{\text{зад}}$  - средняя задержка пакета;  $\bar{W}_i$  - среднее число пакетов на входе в каждое звено.

Условие (2.12) с учетом соотношения (2.11) дает возможность определить такой качественный показатель, как среднее время задержки

$$\bar{T}_{\text{зад}} = \frac{1}{\gamma} \cdot \sum_{i=1}^k \left[ P_{\text{отгк}}^{\text{доп}} \cdot \sum_{\alpha=1}^{m_i} \alpha \cdot \chi_i^{-(m_i-\alpha)} + n_i \cdot \chi_i \cdot \left(1 - P_{\text{отгк}}^{\text{доп}}\right) \right]. \quad (2.13)$$

Введение условия (2.6) позволило не только значительно упростить функционал оптимизации за счет исключения громоздкого выражения (2.4), но и ввести второй качественный показатель – вероятность отказа (потери ячеек), допустимое значение которого может быть задано в виде требования пользователей сети. При этом функция (2.13) имеет экстремум (минимум), поиск которого является задачей безусловной оптимизации. Это позволяет путем вычисления частных производных

$$\partial \bar{T}_{\text{зад}} / \partial \chi_i = 0 \quad (2.14)$$

получить абсолютный экстремум, который в силу унимодальности функции является глобальным. При традиционном методе оптимизации необходимо задавать функцию стоимости в качестве ограничения, так как исходная функция не содержит экстремума, но является выпуклой, и поиск экстремума решается как задача условной оптимизации, имеющей множество относительных экстремумов. Кроме того, данный метод свободен от субъективизма в выборе функции стоимости, поскольку применение той или иной ее формы не может быть убедительно аргументировано для конкретных условий задачи, тем более, что использование в качестве транспортной среды ВОЛС является жизненной необходимостью независимо от ее стоимости и не имеет альтернативы.

В силу аддитивности функции (2.13) после вычисления частных производных (2.14) получаем систему алгебраических уравнений

$$\partial \bar{W}_i / \partial \chi_i = 0 \quad , \quad i = 1, k,$$

каждое из которых является функцией одной независимой переменной, т.е.

$$\partial \bar{W}_i / \partial \chi_i = d \bar{W}_i / d \chi_i = 0. \quad (2.15)$$

Вычисление производных (2.15) с учётом выражения (2.11) приводит к системе  $k$  уравнений вида:

$$\sum_{\alpha=1}^{m_i-1} (m_i - \alpha) \cdot \alpha \cdot \chi_i^{-(m_i-\alpha+1)} = n_i \cdot \frac{1 - P_{\text{отгк}}^{\text{доп}}}{P_{\text{отгк}}^{\text{доп}}}, \quad (2.16)$$

каждое из которых позволяет определить оптимальное значение  $\chi_i = \chi_i^{\text{опт}}$  в функции переменных  $m_i, n_i, P_{\text{отгк}}^{\text{доп}}$ , обеспечивающих минимальное среднее время доставки информации.

Однако по условиям задачи приемлемыми значениями  $\chi_i^{\text{опт}}$  являются только те значения, которые располагаются на поверхности, определяемой выражениями

$$\frac{(n_i \cdot \chi_i)^{n_i+m_i}}{n_i! \cdot n_i^{m_i}} \cdot \left[ \sum_{\alpha=0}^{n_i} \frac{(n_i \cdot \chi_i)^\alpha}{\alpha!} + \frac{(n_i \cdot \chi_i)^{n_i}}{n_i!} \cdot \sum_{\alpha=1}^{m_i} \chi_i^\alpha \right]^{-1} = P_{\text{отк}}^{\text{доп}}, \quad (2.17)$$

полученными из ограничивающего условия (2.5) с учётом (2.3).

Преобразуем выражение (2.16) к следующему виду:

$$\left[ 1 + \frac{1}{n_i} \cdot \sum_{\alpha=1}^{m_i-1} (m_i - \alpha) \cdot \alpha \cdot \chi_i^{-(m_i-\alpha+1)} \right]^{-1} = P_{\text{отк}}^{\text{доп}}. \quad (2.18)$$

Учитывая, что правые части уравнений (2.17) и (2.18) одинаковы и постоянны, приемлемые оптимальные значения  $\text{пр } \chi_i^{\text{опт}}$  могут быть найдены из условия при  $P_{\text{отк}}^{\text{доп}} \ll 1$ :

$$\frac{n_i!}{n_i \cdot \chi_i} \cdot \sum_{\alpha=0}^{n_i} \frac{(n_i \cdot \chi_i)^\alpha}{\alpha!} = \sum_{\alpha=1}^{m_i} \left[ \frac{\alpha \cdot (m_i - \alpha)}{n_i} - \chi_i \right] \cdot \chi_i^{\alpha-1}, \quad i = 1, k. \quad (2.19)$$

Анализ выражения (2.19) показывает, что приемлемые значение  $\text{пр } \chi_i^{\text{опт}}$  не зависят от требуемого значения вероятности отказа и являются функциями дискретных значений числа каналов ( $n_i$ ) и числа мест в очереди ( $m_i$ ).

Каждое уравнение системы (2.19) является функцией одной переменной  $\chi_i$  и даёт возможность независимо определить приемлемое оптимальное значение  $\text{пр } \chi_i^{\text{опт}}$  для каждого звена сети связи. Однако получить точное аналитическое решение уравнений (2.19) не представляется возможным в виду их трансцендентности, но они могут быть решены с помощью специальной программы численным методом. При этом достаточно решить одно из уравнений (2.19) относительно

$$\text{пр } \chi_i^{\text{опт}} = \frac{\lambda_i}{\mu_i \cdot n_i} = \frac{L \cdot \lambda_i}{L \cdot \mu_i \cdot n_i} = \frac{F_i}{C_i \cdot n_i} = f(m_i, n_i), \quad (2.20)$$

где  $L$  - фиксированная длина пакета;  $F_i = L \cdot \lambda_i$  - суммарный поток на входе  $i$ -го звена;  $C_i = L \cdot \mu_i$  - пропускная способность каждого из  $n_i$  каналов.

Остальные значения  $\text{пр } \chi_i^{\text{опт}}$  могут отличаться лишь количеством буферов  $m_i$ , либо числом каналов  $n_i$ .

Оптимизация по  $\chi_i$  позволяет варьировать величинами  $C_i$  и  $n_i$  в зависимости от класса трафика ( $F_i$ ), предоставляя пользователю любую совокупность каналов по его требованию с переменной шириной битовых скоростей передачи, формируя каждый раз виртуальный канал с переменной пропускной способностью независимо от требуемой вероятности отказа, при этом время доставки информации будет оставаться минимальным. В данной статье решение уравнения (2.19) осуществлено графическим методом для изотропной сети. Кривые зависимости функций  $F_1(\chi, n)$  и  $F_2(\chi, n, m)$ , соответствующие правой и левой частям уравнения (2.19), представлены на совмещённом графике (рис.2.1).

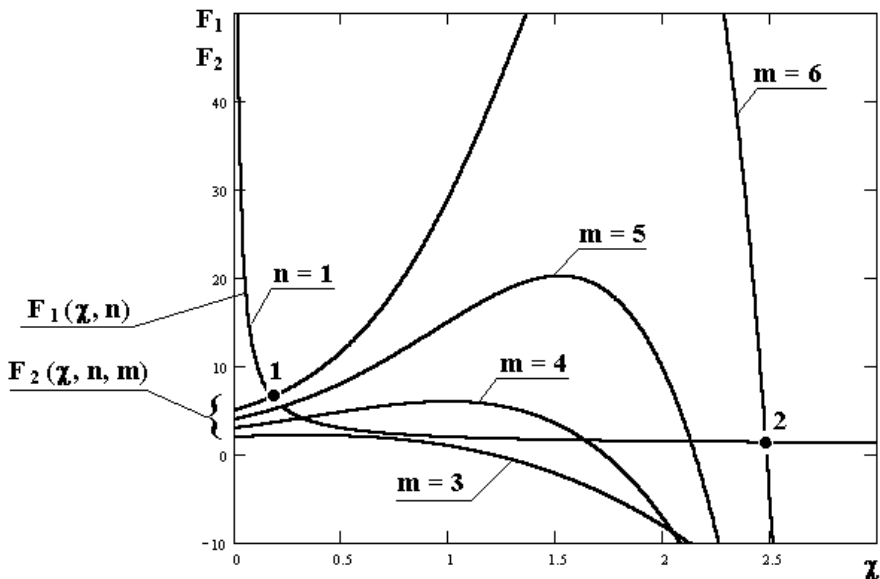


Рис. 2.1. Кривые функций  $F_1(\chi, n)$  и  $F_2(\chi, n, m)$

Приемлемые оптимальные значения  $\chi_i^{\text{опт}} = Y(m, n)$  определяются координатами точек пересечения этих кривых на оси  $\chi$ . Анализ графиков показывает, что в зависимости от соотношения величин  $m$  и  $n$  возможны три случая.

В первом случае кривые  $F_1(\chi, n)$  и  $F_2(\chi, n, m)$  не пересекаются и задача не имеет решения, т.е. экстремальные значения функции (2.13) не являются приемлемыми. Во втором случае кривые  $F_1(\chi, n)$  и  $F_2(\chi, n, m)$  имеют одну общую точку (точку касания), однако подобных точек для целочисленных  $n$  и  $m$  не выявлено (по - видимому, не существует).

В третьем случае кривые  $F_1(\chi, n)$  и  $F_2(\chi, n, m)$  имеют две точки пересечения (1 и 2), однако значения  $\chi > 1$  во второй точке обуславлива-

ют быстрый рост  $\overline{T}_{\text{зад}}$  и  $R_{\text{отк}}^{\text{доп}}$  и в данной статье не анализируются. По физическому смыслу и условиям задачи приемлемыми являются значения  $\text{пр}\chi^{\text{опт}}$ , расположенные в точке 1.

Таким образом, полученные из графиков значения  $\text{пр}\chi^{\text{опт}}$  совместно с соотношением (2.20) дают возможность рассчитать пропускные способности каналов связи и необходимый объём буферной памяти при известной топологии сети и заданной матрице тяготений  $|\lambda_{ij}|$ , которые обеспечивают требуемые значения вероятности отказа и гарантируют минимальное время доставки сообщений.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Олифер В., Олифер Н. Новые технологии и оборудование IP-сетей. – С.-Пб.: БХВ, 2000. – 512 с.
2. Назаров А.Н., Симонов М.В. АТМ : Технология высокоскоростных сетей. – М.: Эко -Трендз, 1999. – 252 с.
3. Тихонов В.И. Выбросы случайных процессов. – М.: Наука, 1970. – 370 с.
4. Мартин Д. Архитектура и реализация АТМ. – М.: Лори, 1977. – 214 с.
5. Кучук Г.А. Метод синтезу логічної структури мережевої бази даних // Системи обробки інформації. – Х. : ХВУ, 2001. – Вип. 2(12). – С. 32-36.
6. Кучук Г.А. Формалізація предметної області багатовимірних баз даних // Системи обробки інформації. – Х. : ХВУ, 2001. – Вип. 1(11). – С. 110 - 114.
7. Кучук Г.А. Минимизация загрузки каналов связи вычислительной сети // Системи обробки інформації. – Х. : НАНУ, ПАНМ, ХВУ, 1998. – Вип. 1(5). – С. 149-154.
8. Вентцель Е.С. Исследование операций. – М.: Наука, 1989. – 275 с.
9. Бертсекас Д., Галлагер Р. Сети передачи данных. – М.: Мир, 1989. – 544 с.

Поступила 04.01.2002

**ТУРКО Сергей Александрович**, канд. техн. наук, доцент, начальник кафедры АСС (автоматизированных сетей связи) Филиала Ростовского военного института РВ (г. Ставрополь). Окончил в 1983 году Ставропольское высшее военное инженерное училище связи. Область научных интересов – синтез ансамблей сложных сигналов, сети передачи данных.

**ФОМИН Лев Андреевич**, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры АСС Филиала РВИ РВ (г. Ставрополь). Окончил в 1965 году Пермское высшее военное инженерное училище. Область научных интересов – сети передачи данных.

**ЗДАНЕВИЧ Сергей Николаевич**, преподаватель кафедры АСС Филиала РВИ РВ (г. Ставрополь). Окончил в 1990 году Ставропольское высшее военное инженерное училище связи. Область научных интересов – сети передачи данных.

**ВАТАГА Александр Иванович**, преподаватель кафедры АСС Филиала РВИ РВ (г. Ставрополь). Окончил в 1978 году Ставропольское высшее военное инженерное училище связи. Область научных интересов – сети передачи данных.

**ГАХОВА Нина Николаевна**, преподаватель кафедры автоматизированных систем управления Северо-Кавказского государственного технического университета. Окончила в 1984 году Харьковский институт радиоэлектроники. Область научных интересов – автоматизированные системы управления.