

УДК 621.396

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СЕТИ ОКС-7 ДЛЯ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ О НОМЕРАХ СЕТЕВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Н.С. Мардер, заведующий кафедрой ИПК МТУСИ, к.т.н.

В процессе взаимодействия операторов сетей электросвязи между собой и с системой централизованного управления сетями электросвязи возникает необходимость обмена информацией о номерах сетевых элементов (СЭ). Под "сетевыми элементами" будем понимать объекты физического и "нулевого" уровней эталонной модели OSI [1].

Для организации обмена информацией может быть создана специальная сеть связи или использованы ресурсы какой-либо из уже существующих сетей. При этом, исходя из требований защиты от несанкционированного доступа, недопустимо использование информационных ресурсов сети общего пользования, т.е. ресурсов, к которым могут иметь доступ пользователи.

Для передачи информации о номерах СЭ рассмотрим возможность использования сети ОКС-7. Такой вариант имеет право на существование, если выполняются следующие функциональные задачи:

- доставка информации, связанной с номерами СЭ, обеспечивается в соответствии с заданными вероятностно-временными показателями;
- передача этой информации существенно не ухудшает качества работы сети ОКС-7;
- при передаче информации о номерах СЭ обеспечиваются заданные показатели надежности.

Для исследования вероятностно-временных показателей используем модель сети систем массового обслуживания – сети СМО (рис. 1).

Между источником (И) и приемником (П) информации в общем случае может находиться несколько узлов сети, каждый из которых является СМО. Чтобы обеспечить надежную работу сети между узлами "И" и "П" необходимо создать несколько маршрутов обмена информацией (a, b, \dots, h). Очевидно, что $h \geq 2$. Каждый маршрут может содержать различное число транзитных узлов (k, l, \dots, m). Для СМО, обозначенной как "2b", показано, что в транзитный узел поступают другие потоки информации (потоки требований). На выходе этой СМО показаны потоки требований, направляемые в другие СМО. Их интенсивность обозначаем λ , а интенсивность обслуживания – μ .

В общем случае зависимости $\lambda(t)$ и $\mu(t)$ – положительные функции, имеющие конечное значение математического ожидания. Все процессы поступления и обслуживания требований можно представить функциями распределения $A(t)$ и $B(t)$. Предположим также, что для функций $A(t)$ и $B(t)$ существуют соответственно преобразования Лапласа-Стилтьеса – $\alpha(s)$ и $\beta(s)$, причем эти утверждения являются стандартными в теории массового обслуживания [2].

Информация между узлами "И" и "П" передается в форме пакетов, которые могут соответствовать IP-пакетам или сигнальным единицам в сети ОКС-7. Для анализа вероятностно-временных показателей сети это несущественно, важно, что информация будет передаваться по алгоритму "с ожиданием".

Можно выделить два основных класса пакетов, в которых передается информация о номерах СЭ:

- класса "1", которые необходимо передавать за минимально возможное время (соизмеримое со временем распространения сигнала);
- класса "3", для которых допускается значительная задержка доставки (например, на два-три порядка больше, чем для пакетов "1").

Пакеты собственно сети ОКС-7 определяются как пакеты класса "2". Можно считать, что пакеты класса "1" имеют первый относительный приоритет, класса "3" – третий относительный приоритет, а пакеты сети ОКС-7 – второй относительный приоритет.

С учетом изложенного, процесс обмена информацией между узлами "И" и "П" описывается многофазной СМО, где каждая СМО есть система с одним обслуживающим устройством обмена пакетами и с тремя относительными приоритетами. Для каждого типа пакетов определены значения λ_i и справедливо условие:

$$\lambda_1 < \lambda_3 \ll \lambda_2. \tag{1}$$

Чтобы проанализировать вероятностно-временные показатели сети необходимо задать вид функций $A_i(t)$ и $B_i(t)$, а также определить число мест ожидания в очереди на передачу и обработку пакетов. Можно ввести допущение, что потоки требований как первого, так и третьего приоритетов характеризуются постоянным временем обслуживания τ . При этом, для получения надежных оценок величина τ выбирается как $\tau = \max\{t_j\}$, где t_j – возможные значения длительности обслуживания требований, составляющих множество $\{J\}$. Тогда в функции $\beta(s)$ индекс "i" может быть опущен:

$$\beta(s) = \exp(-\tau s). \tag{2}$$

Для функций $A_i(t)$ вводится классическое предположение, что потоки требований являются простейшими. Тогда функции $A_i(t)$ и $\alpha_i(s)$ определяются в виде:

$$A_i(t) = 1 - \exp(-\lambda_i t), \quad \alpha_i(s) = \lambda_i / (s + \lambda_i). \tag{3}$$

Ниже будет рассмотрено влияние вида функций $A_i(t)$ на полученные результаты с учетом возможности проявления фрактальных свойств трафика. Относительно числа мест для ожидания в очереди на передачу и обработку пакетов вполне допустима гипотеза о том, что оно бесконечно. Это утверждение следует, в частности, из норм, которые предлагаются МСЭ-Т. Они находятся на уровне ниже $10^{-3} \dots 10^{-5}$. Для таких значений вероятности потерь пакета объем буферной памяти всегда достаточно велик.

Определим форму, в которой будут заданы нормы на вероятностно-временные показатели. Согласно практике МСЭ-Т и ETSI, эти показатели должны определяться двумя значениями требований i-го приоритета:

- математическим ожиданием времени задержки пакетов между узлами "И" и "П" – \bar{T}_i ;

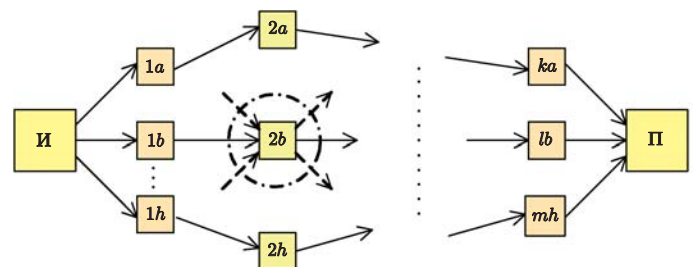


Рис. 1

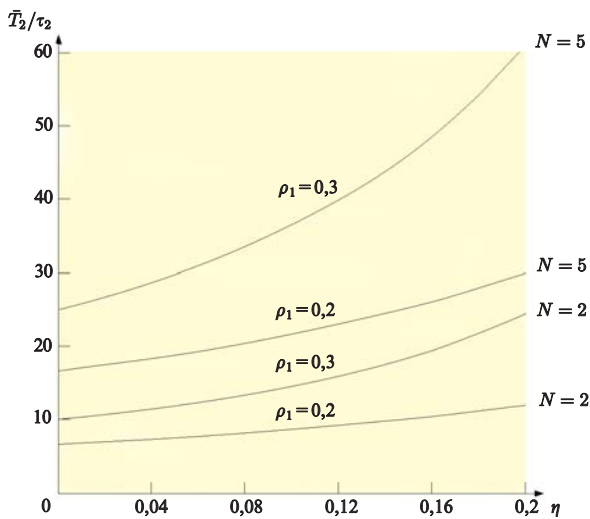


Рис. 2

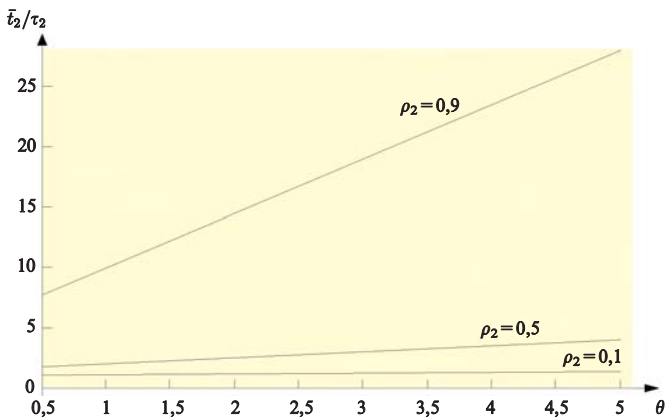


Рис. 3

• квантилю (на уровне 95% или 99,9%) функции распределения времени задержки пакетов при их передаче между узлами "И" и "П" – X_i .

Рассмотрим многофазную систему, состоящую из N СМО. Свойство аддитивности математического ожидания позволяет определить его в виде:

$$\bar{T}_i = \sum_{j=1}^N \bar{t}_{ij}, \tag{4}$$

где \bar{t}_{ij} – математическое ожидание времени задержки пакетов i -го приоритета в j -м узле.

Для рассматриваемой модели j -й узел является j -й СМО, а пакеты i -го приоритета представляют собой требования, которым присвоен приоритет уровня i . Нагрузка j -й СМО, которую создают требования i -го приоритета (ρ_{ij}), определяется простым соотношением:

$$\rho_{ij} = \lambda_{ij}\tau, \tag{5}$$

где λ_{ij} – интенсивность потока требований i -го приоритета в j -й СМО.

Преобразование Лапласа-Стилтьеса функции распределения времени задержки требований i -го приоритета для выбранной модели СМО с r классами приоритетов имеет вид [3]:

$$\chi_i(s) = \frac{(1 - \sum_{k=1}^r \rho_k)\pi_i + \sum_{l=i+1}^r \lambda_l [1 - \exp(-\pi_l)]}{s - \lambda_i + \lambda_i \exp(-\pi_i)} + \tau, \tag{6}$$

где π_i определяет преобразование Лапласа-Стилтьеса для функции распределения периода занятости СМО требованиями i -го приоритета. В (6) опущен индекс j , так как на данном этапе рассматривается лишь одна фаза обслуживания требований. Математическое ожидание времени задержки требований i -го приоритета определяется, согласно [4], как

$$\bar{t}_i = \frac{\tau^2 \sum_{k=1}^r \lambda_k}{2 \left(1 - \sum_{k=0}^i \rho_k\right) \left(1 - \sum_{k=0}^{i-1} \rho_k\right)} + \tau. \tag{7}$$

В этой формуле $\rho_0 = 0$.

Практический интерес представляют оценки поведения величин \bar{t}_i при различных соотношениях λ_i . В этом случае, полагая нагрузку каждого узла идентичной, формулу для оценки \bar{T}_i можно представить в виде:

$$\bar{T}_i = N\tau \left[\frac{\rho}{2 \left(1 - \sum_{k=0}^i \rho_k\right) \left(1 - \sum_{k=0}^{i-1} \rho_k\right)} + 1 \right], \tag{8}$$

где ρ – суммарная нагрузка одной СМО требованиями всех уровней приоритета.

С учетом соотношения (1) построены графики, показанные на рис. 2. Очевидно, что все \bar{T}_i линейно зависят от количества фаз обслуживания (длины маршрута). Графики построены для \bar{T}_2 при различных соотношениях интенсивности $\eta = \lambda_1 : \lambda_2$. Предполагается, что $\tau_2 = 1$.

На практике величина $\eta \ll 0,01$, и поэтому передача небольших объемов информации не сказывается на качестве обслуживания основного трафика сети ОКС-7. Этот факт следует из поведения графиков при малых значениях ρ_1 (больших величинах η).

Чтобы проанализировать влияние трафика третьего приоритета можно построить графики для \bar{t}_2 , определяющие среднее значение задержки требований на одной фазе обслуживания. Оценки величины \bar{t}_3 не имеют практической ценности. Интересен случай, когда средние времена обслуживания требований второго и третьего приоритетов различаются: $\tau_2 \neq \tau_3$. Для такого условия

$$\bar{t}_2 = \frac{\tau_2 \rho_2 + \tau_3 \rho_3}{2(1 - \rho_2)} + \tau_2. \tag{9}$$

Выражение (9) интересно тем, что позволяет оценить влияние длины пакета сообщений о номерах СЭ, для которых допустимы большие задержки, на трафик сети ОКС-7. Чтобы этот трафик не оказывал заметного влияния на основной трафик, при необходимости, можно сократить длину пакета для требований с низким приоритетом.

Введем коэффициент $\theta = \tau_3 : \tau_2$. В качестве частного случая выберем условие $\rho_2 = \rho_3$. Тогда формула (9) приобретает вид:

$$\bar{t}_2 = \tau_2 \left[\frac{\rho_2(1 + \theta)}{2(1 - \rho_2)} + 1 \right]. \tag{10}$$

Зависимость \bar{t}_2 от θ показана на рис. 3. Графики, приведенные на этом рисунке, позволяют оценить длину пакета низкоприоритетных требований, при которой качество обслуживания основного трафика сети ОКС-7 практически не ухудшается. Из графиков видно, что при реальной нагрузке ($\rho_2 \leq 0,5$) "длинные" пакеты с информацией о номерах СЭ не влияют на качество обслуживания основного трафика. При перегрузке сети (примерно, в случае $\rho_2 \geq 0,7$) целесообразно ограничивать длину пакетов.

Исследование влияния трафика данных о номерах СЭ на квантиль функции распределения времени задержки пакетов можно начать с оценки поведения дисперсии анализируемой

величины. При этом, учитывая неравенство (1), величиной ρ_1 можно пренебречь. Тогда нагрузка сети ОКС-7 может рассматриваться как трафик первого приоритета, а нагрузка о номерах СЭ – как трафик второго приоритета. Для сохранения формы полученных ранее соотношений предполагается, что класс "2" относится к первому приоритету, а класс "3" – ко второму. Дисперсия времени задержки для требований основного трафика может быть представлена в виде:

$$D_2 = \frac{(\rho_2 + \rho_3)(4 - \rho_2 - 3\rho_3)}{12(1 - \rho_2)^2} \tau^2. \tag{11}$$

При $\tau_2 = \tau_3$ формула (9) принимает вид:

$$\bar{t}_2 = \left[\frac{\rho_2 + \rho_3}{2(1 - \rho_2)} + 1 \right] \tau_2. \tag{12}$$

Две последние формулы позволяют оценить коэффициент вариации времени задержки приоритетных требований:

$$k_2 = \frac{\sqrt{(4 - \rho_2 - 3\rho_3)(\rho_2 + \rho_3)}}{(2 - \rho_2 + \rho_3)\sqrt{3}}. \tag{13}$$

Введем коэффициент ϑ , равный отношению $\rho_3 : \rho_2$. Из условия (1) следует, что $\vartheta < 1$. Выражение (13) можно переписать в форме:

$$k_2 = \frac{\sqrt{[4 + \rho_2(1 + 3\vartheta)][\rho_2(1 + \vartheta)]}}{[2 - \rho_2(1 - \vartheta)]\sqrt{3}}. \tag{14}$$

С практической точки зрения интересна также зависимость k_2 от нагрузки ρ_2 для ряда различных значений ϑ . Соответствующие графики показаны на рис. 4. Вид графиков подтверждает интуитивное предположение, что при реальных значениях нагрузки ($\rho_2 \leq 0,7$) величина k_2 не превышает единицы.

При $k_2 < 1$ в качестве "худшего случая" функцию распределения времени задержки требований можно представить экспоненциальной функцией $F_2(t)$. Для исследуемой модели

$$F_2(t) = 1 - \exp[-(1 - \rho_2)t/\tau_2]. \tag{15}$$

В случае экспоненциального закона вычисление квантили для одной фазы (она соответствует значению $F_2(t) = p_i$) осуществляется в виде

$$x_i = -\frac{\ln(1 - p_i)\tau_2}{1 - \rho_2}. \tag{16}$$

Чтобы оценить нормируемый параметр X_i , необходимо найти величину, аналогичную (12) и (16), но для многофазной СМО. Аналитическое выражение для X_i можно получить, введя ряд допущений, однако при решении практических задач достаточно показать, что экспоненциальный закон позволяет и в случае многофазной системы получать оценки для "худшего случая".

Пусть в N -фазной СМО математическое ожидание времени задержки требования – $N\bar{t}$, где \bar{t} – среднее время пребывания требования в одной из однотипных фаз. Для каждой фазы дисперсия времени пребывания требований – σ^2 , тогда дисперсия времени задержки в N -фазной СМО – $N\sigma^2$. Известно, что коэффициент вариации для времени пребывания требований на одной фазе $k < 1$. Для N -фазной СМО:

$$k(N) = \frac{\sigma}{\bar{t}\sqrt{N}}. \tag{17}$$

Это соотношение доказывает, что для N -фазной СМО $k(N)$ не может быть больше, чем для одной системы. Таким образом, подход, предложенный выше, может быть использован для оценки квантили в N -фазной СМО. При этом полученная оценка будет справедлива для "худшего случая". Значит, реальные значения квантили X_i будут (для кор-

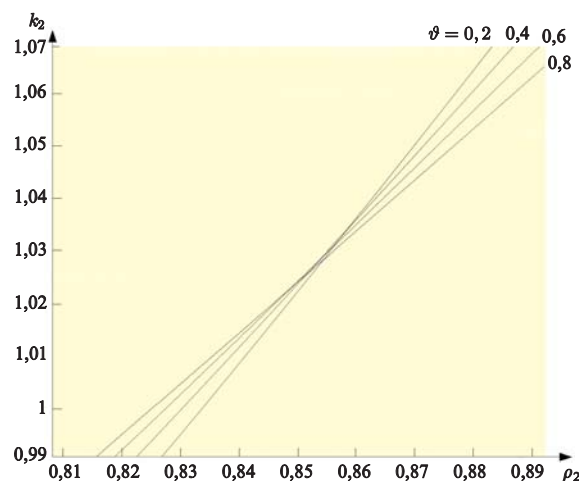


Рис. 4

ректно спроектированных сетей) оцениваться с надежным запасом.

Большинство полученных результатов основано на предположении об экспоненциальном законе распределения входящих требований (пакетов). В последние годы часто используется гипотеза о том, что потоку поступающих требований свойственна фрактальность. Главная особенность фрактальных процессов (для рассматриваемых задач) состоит в том, что коэффициент вариации интервалов между поступлением требований может быть больше единицы. Тогда функцию $A(t)$ нельзя представить экспоненциальным законом. Подобные распределения функции $A(t)$ относятся к законам с так называемыми "тяжелыми хвостами" [5].

Для анализа влияния возможных фрактальных свойств трафика следует оценить два процесса. Первый связан с обслуживанием трафика первого приоритета, когда необходимо срочно передать незначительный объем информации о номерах СЭ. Очевидно, что первый вновь прибывший пакет первого приоритета будет ожидать начала обслуживания в течение времени t_w . Эта случайная величина равномерно распределена на отрезке от нуля до τ_2 . Тот факт, что может скопиться большая очередь пакетов второго приоритета, не играет никакой роли. Пакет первого приоритета начнет обслуживаться максимум через время τ_2 .

Второй процесс связан с обслуживанием трафика третьего приоритета, когда передаются пакеты, допускающие очень большую задержку. Рост задержки, которая обусловлена фрактальными свойствами трафика второго приоритета, можно оценить по приближенным формулам, полученным для СМО с произвольным распределением функции $A(t)$.

В подобных случаях для большой нагрузки среднее значение времени ожидания начала обслуживания

$$\bar{W} \approx \frac{\sigma_a^2 + \sigma_b^2}{2\bar{t}(1 - \rho_2)}, \tag{18}$$

где σ_a^2 – дисперсия времени поступления требований в СМО; σ_b^2 – дисперсия времени обслуживания требований; \bar{t} – математическое ожидание интервала между поступлением соседних требований [3].

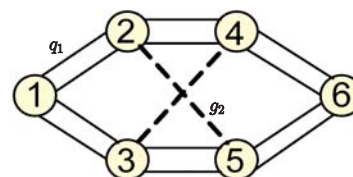


Рис. 5

Таблица

q_1	0,99	0,999	0,9999
r	0,99999991	0,99999999991	0,99999999999991

Для постоянного времени обслуживания требований $\sigma_b^2 \equiv 0$. Учитывая связь между коэффициентом вариации для поступающих требований – k_a и величиной \bar{t} , формулу (18) можно упростить:

$$\bar{W} \approx \frac{\bar{t}k_a^2}{2(1-\rho_2)}. \quad (19)$$

Следовательно, рост времени ожидания начала обслуживания пропорционален k_a^2 . Величины k_a могут достигать больших значений (например, измеряться десятками), но даже в этом случае время ожидания, обычно измеряемое единицами миллисекунд, не превысит (при $k_a \leq 100$) 100 с. Очевидно, что такая оценка является maximum maximum для исследуемой величины. С другой стороны, для нового обновления информации о номерах СЭ допустимыми порогами можно считать десятки минут или даже единицы часов. Таким образом, фрактальный характер трафика не окажет существенного влияния на вероятностно-временные характеристики системы.

Модель передачи данных о номерах СЭ, построенная на базе сети ОКС-7 Российской Федерации, иллюстрирует граф, показанный на рис. 5.

Точки обмена информацией о номерах СЭ отдельных операторов связи размещаются в узлах 1–6, соответствующих транзитным пунктам сигнализации сети ОКС-7. Смежные вершины графа согласно требованиям сети ОКС-7 соединены двумя ребрами; для простоты расчетов коэффициент готовности каждого ребра принят как q_1 (минимальный из всех возможных). В некоторых случаях между несмежными узлами организуются поперечные направления, показанные пунктирными линиями. Их коэффициент готовности обозначен как q_2 .

Для получения нижней границы надежностных характеристик полагаем далее $q_2 = 0$.

Минимальный коэффициент готовности наиболее протяженного транзитного тракта сети (между узлами 1 и 6) может быть рассчитан как

$$r = 1 - \left[1 - \left[1 - (1 - q_1)^2 \right]^3 \right]^2. \quad (20)$$

Для значений q_1 , интересных с практической точки зрения, величины r_2 приведены в таблице.

Из таблицы следует, что даже для не очень надежных компонентов сети сигнализации (на уровне 0,99) обеспечивается высокое значение коэффициента готовности. Значит, сеть ОКС-7, с точки зрения показателей надежности, вполне подходит для поддержки процессов информационного обмена о номерах СЭ.

Главный вывод проведенного исследования состоит в том, что для передачи служебной информации о номерах сетевых элементов может быть использована ОКС-7. При этом обеспечивается выполнение всех поставленных выше функциональных задач.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Мардер Н.С.** Об универсальном подходе к нумерации сетевых элементов сетей электросвязи // Электросвязь. – 2007. – № 10.
2. **Вишневский В.М.** Теоретические основы проектирования компьютерных сетей. – М.: Техносфера, 2003.
3. **Клейпрок Л.** Вычислительные сети с очередями. Пер. с англ. под ред. Б.С. Цыбакова. – М.: Мир, 1979.
4. **ITU-D.** Teletraffic Engineering Handbook (edited by V.B. Iversen). – Geneva, 2003.
5. **Шелухин О.И., Тенякшев А.М., Осин А.В.** Фрактальные процессы в телекоммуникациях. – М.: Радиотехника, 2003.

Получено 9.01.07