

УДК 621.324

Ю.И. Лосев, З.З. Закиров

*Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков*

## **МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕРОЯТНОСТНО-ВРЕМЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ С УЧЕТОМ СПЕЦИФИКИ ПРОТОКОЛОВ**

*В статье разрабатывается методика анализа количественных характеристик процесса обмена данными в телекоммуникационных сетях, учитывающая свойства информационного потока и специфику протоколов взаимодействия.*

*вероятностно-временной граф, производящая функция, методика, информационный поток*

### **Введение**

**Постановка проблемы.** Успешное решение задач, которые стоят перед Воздушными Силами Украины, зависит не только от соотношения сил и средств, но и от качества управления.

В настоящее время формируются и развиваются новые принципы управления войсками. Это обусловлено революционными изменениями в инфотелекоммуникационных технологиях, которые фундаментально изменяют содержание войн нового поколения, способы их ведения и управление войсками (силами) и оружием. Высокий уровень информаци-

онного обеспечения становится определяющим условием достижения преимущества над противником.

Значительно возрастает зависимость системы управления от ее технологической составляющей – современных информационных технологий, которые позволяют осуществлять переход к системам более высокого уровня – информационно-телекоммуникационным. Телекоммуникационная составная представленная системой связи, а также информационными технологиями, определяет тип, архитектуру, порядок и правила функционирования сетей связи. Переход к информационно-телекоммуникаци-

онным системам обеспечит устойчивый оперативный информационный обмен как в мирное, так и в военное время. Однако этот переход невозможен без количественного анализа как используемых, так и передовых технологий, применяемых в современных телекоммуникационных сетях (ТКС). В настоящее время для анализа количественных характеристик применяются методы моделирования сетей, использующие различный математический аппарат. Эти методы описывают отдельные процессы обмена информацией и имеют свои достоинства и недостатки.

**Цель статьи.** Разработка методики анализа количественных характеристик процесса обмена данными в ТКС, учитывающей свойства информационного потока и специфику протоколов взаимодействия.

**Анализ литературы.** В известных источниках анализ количественных характеристик процесса информационного обмена в ТКС основывается на использовании математических аппаратов теории массового обслуживания (ТМО) [1, 2], теории графов [3], вероятностно-временных графов (ВВГ) [4 – 6] и теории телетрафика со свойством самоподобия [7].

Однако применение рассматриваемых математических аппаратов позволяет анализировать частные характеристики процесса доставки сообщений, задачи маршрутизации потоков, оценить вероятностно-временные характеристики протоколов информационного взаимодействия, характеристики сетевого трафика.

Проанализировав возможности и ограничения различных подходов к анализу количественных характеристик процесса информационного обмена в ТКС, разработаем методику, которая учитывает специфику протоколов информационного обмена, а также позволяет определить среднее время доставки сообщений с учетом процессов передачи и задержки в очереди на обслуживание информационного потока устройством обработки.

### Изложение основного материала

Важными характеристиками информационного обмена в ТКС является время доставки сообщений от источника к потребителю, вероятности ошибки и вероятности потери. Результаты исследований времени доставки влияют на выбор методов обмена данными, управления потоком и маршрутизацию. Методической основой анализа времени доставки сообщений является ТМО.

Применение математического аппарата ТМО дает хорошие результаты при малой загрузке КС и имеет ряд ограничений, таких как [8]: стационарность и ординарность входного и выходного потока заявок; отсутствие последствия, возможности учета широковещательного трафика и топологии, специфики протоколов информационного обмена.

При использовании ТМО возникают сложности учета мультисервисности сети, механизмов управления потоком и очередями, профилирования и сглаживания трафика, работы планировщика, управления доступом входящего потока.

Телекоммуникационная сеть характеризуется различными по форме связями, а также различными видами взаимодействия. Часто для изучения характеристик таких связей и взаимодействий служит математический аппарат теории графов.

С помощью теории графов, как правило, успешно решаются задачи [8]: маршрутизации, поиска кратчайших путей и максимального потока, распределения ресурсов сети, оценки надежности передачи сообщений, поиска маршрута для доставки информации с заданными параметрами качества, многопутевой маршрутизации, маршрутизации широковещательной рассылки, оптимизации сетей с выигрышами и проигрышами, а также синтез глобальной структуры сети.

Однако применение математического аппарата теории графов ограничивается возникающими сложностями учета очередей и мультисервисности, механизмов управления потоком, очередями и доступом входящего потока, профилирования и сглаживания трафика, а также работы планировщика; невозможности работы с нестационарными потоками, учета специфики протоколов информационного взаимодействия.

Используя математический аппарат ВВГ и производящих функций можно решать задачи оценки вероятностно-временных характеристик протоколов информационного взаимодействия и сетевых устройств; моделировать поведение абонентов сети (входного трафика сети), механизмов управления доступом, трафиком и очередями, профилирования и сглаживания трафика, а также работы планировщика [8].

Однако имеются ограничения по возможности учета топологии, типа трафика и динамики информационного обмена.

Применение математического аппарата теории телетрафика со свойствами самоподобия позволяет учитывать сложность характера трафика. Фрактальный анализ может быть применен только по отношению к трафику, имеющему свойство самоподобия, степень которого может быть оценена по коррелированности значений параметров трафика в широком временном диапазоне. Применение данного математического аппарата позволяет строить эффективные модели прогнозирования поведения параметров трафика процесса информационного обмена.

Разработаем методику исследования количественных характеристик процесса информационного обмена в ТКС, учитывающую специфику протоколов информационного обмена. При этом определе-

ние среднего времени доставки сообщений будем производить с учетом процессов передачи и задержки в очереди на обслуживание информационного потока устройством обработки по формуле:

$$T_{\text{ср дост}} = T_{\text{ср прд}} + T_{\text{ср зад}}$$

где  $T_{\text{ср прд}}$  – среднее время передачи (обслуживания) сообщения;  $T_{\text{ср зад}}$  – среднее время задержки в очереди на обслуживание информационного потока устройством обработки.

Среднее время передачи сообщений определяется применяемой технологией (спецификой протоколов взаимодействия) и длительностью предаваемого кадра. Методика определения этого времени будет приведена ниже.

Среднее время задержки в очереди на обслуживание определяется интенсивностью поступления потока сообщений –  $\lambda$ , интенсивностью обслуживания –  $\mu$  и законом поступления заявок. Так для наиболее распространенного простейшего потока, принятого в классической теории телетрафика, справедливо выражение:

$$T_{\text{ср зад}} = \frac{\lambda}{\mu \cdot (\mu - \lambda)} \quad (1)$$

Стационарный поток, подчиняющийся распределению Пуассона, не в полной мере описывает поведение информационного трафика. Поэтому будем учитывать фрактальный характер потока, обладающего свойством самоподобия, что позволит эффективнее прогнозировать поведение параметров трафика в сети. Под свойством самоподобия будем понимать случайный процесс, ряд статистик которого имеют сходный характер при рассмотрении в различном масштабе по шкале времени. Для трафика, обладающего свойством сапоподобия, можно показать справедливость следующей зависимости среднего времени задержки сообщения в очереди на обслуживание от параметров  $\mu$  и  $\lambda$ :

$$T_{\text{ср зад}} = \frac{\lambda}{\mu} \cdot \left( \frac{\lambda}{\mu} \right)^{\frac{1}{2(1-H)}} \left/ \left( \lambda \cdot \left( 1 - \frac{\lambda}{\mu} \right)^{1-H} \right) \right., \quad (2)$$

где  $H$  – параметр Херста ( $0,5 \leq H < 1$ ).

Для выявления условий необходимости учета самоподобного характера потока построим график зависимости среднего времени задержки заявки в очереди на обслуживание от параметра  $H$  для постоянного значения  $\lambda=6$  (рис. 1).

Графики построены при значении коэффициента загрузки  $\rho = \lambda/\mu$ , равном 0,5 (кривая 1), 0,6 (кривая 2), 0,7 (кривая 3), 0,8 (кривая 4).

Анализ зависимостей среднего времени задержки в очереди на обслуживание от параметра Херста показывает, что чем больше коэффициент загрузки, тем более ярко проявляется фрактальные свойства.

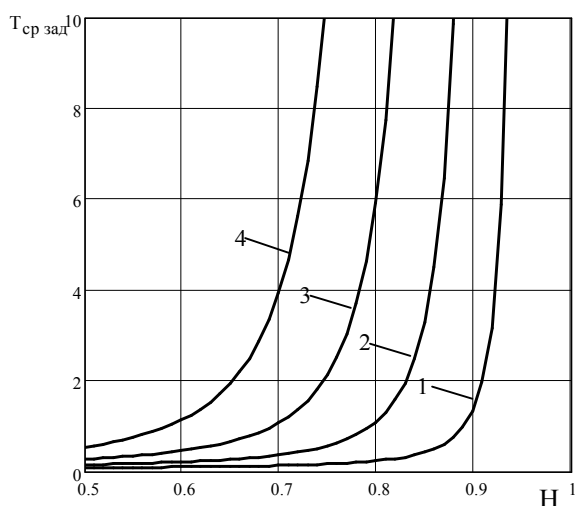


Рис. 1. Зависимость среднего времени задержки в очереди на обслуживание от параметра  $H$

Равенство  $H=0,5$  свидетельствует об отсутствии свойства самоподобия, а выражение (2) преобразовывается в (1).

Учитывая равенство  $T_{\text{ср прд}} = \mu^{-1}$  и соотношение (2) приведем зависимость среднего времени доставки сообщения от интенсивности поступления потока и интенсивности обслуживания (рис. 2, 3).

Кривые 1 строились с учетом равенства  $H=0,5$ , т.е. для простейшего потока; для кривых 2 параметр Херста задавался  $H=0,8$ . Зависимости, представленные на рис. 2, получены с учетом заданного значения интенсивности обслуживания  $\mu=8$ , а на рис. 3 – при интенсивности поступления потока сообщений  $\lambda=8$ .

Анализ зависимостей, представленных на рис. 1 – 3, показывает существенную зависимость среднего времени доставки сообщения от выбранного закона распределения входящего потока заявок на обслуживание при коэффициенте загрузки  $\rho \geq 0,5$  и  $H \geq 0,9$ . Если  $\rho < 0,5$ , то можно считать, что поток заявок на обслуживание простейший и среднее время  $T_{\text{ср зад}}$  можно вычислять по формуле (1).

Для определения среднего времени передачи сообщения –  $T_{\text{ср прд}}$ , дисперсии этого времени и других вероятностно-временных характеристик процессов с учетом особенностей протоколов информационного обмена воспользуемся математическим аппаратом ВВГ и производящих функций [5, 6].

Применение данного метода предполагает построение вероятностно-временного графа, описывающего процесс передачи сообщения. Каждая дуга ВВГ характеризуется вероятностью ее выбора –  $P$  и относительным временем перехода из одного состояния в другое –  $t$  (относительно длины передаваемого пакета). При этом вид функции дуги  $f(P, t)$  должен быть таким, чтобы при нахождении произведений функций дуг вероятности умножались, а время суммировалось.

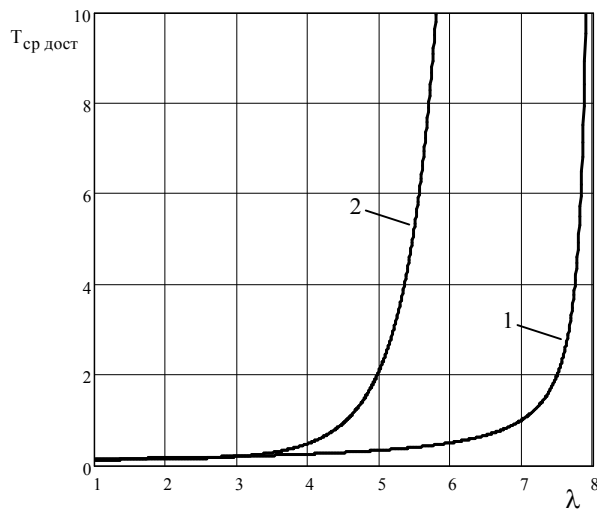


Рис. 2. Зависимости среднего времени доставки от интенсивности поступления потока сообщений

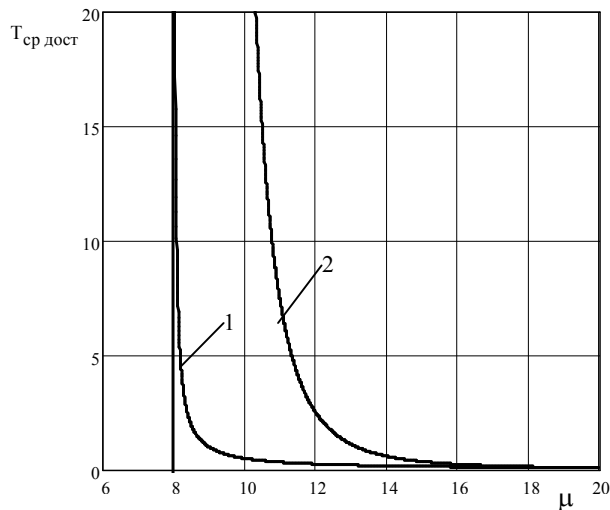


Рис. 3. Зависимости среднего времени доставки сообщения от интенсивности обслуживания

Такая функция имеет вид  $f(P, t) = P \cdot Z^t$ , где  $Z$  – параметр [5].

Производящая функция  $F(Z)$ , соответствующая ВВГ, является суммой функций всех путей, соединяющих начальную и конечные вершины графа. Для ее получения исходный ВВГ подвергают последовательным эквивалентным преобразованиям. При эквивалентных преобразованиях функция последовательного соединения  $k$  - дуг записывается в виде

$$f_{1,2..k}(Z) = \prod_{i=1}^k P_{i,i+1} Z^{t_i, t_{i+1}}$$

Функция параллельно соединенных  $k$  - дуг имеет вид

$$f_{1,2..k}(Z) = \sum_{i=1}^k P_{i,i+1} Z^{t_i, t_{i+1}}$$

Если в графе имеется петля с функцией  $f_n(Z)$ , то значит, имеется повторяющийся процесс, мате-

матически описываемый геометрической прогрессией. При эквивалентных преобразованиях дуга  $f_1(Z)$  с петлей  $f_n(Z)$  записывается дугой  $f(Z) = f_1(Z)/(1 - f_n(Z))$ . Эквивалентные преобразования обычно проводят до тех пор, пока не будут получены функции, характеризующие переход из начального в конечные состояния: прием сообщения (функция  $F_1(Z)$ ), с ошибкой (функция  $F_2(Z)$ ) и потерей (функция  $F_3(Z)$ ) (рис. 4). Производящая функция равна  $F(Z) = F_1(Z) + F_2(Z) + F_3(Z)$ .

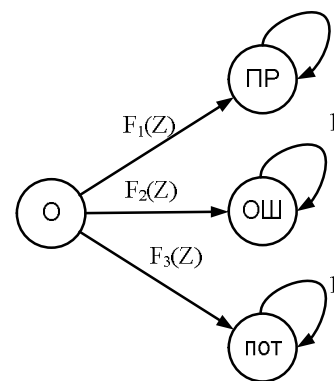


Рис. 4. Конечные функции, характеризующие переход из начального в конечные состояния

Из полученной производящей функции находят среднее время выполнения исследуемого процесса и его дисперсию –  $D_{T_{ср прд}}$ , вероятность ошибки –  $P_{ош}$  и вероятность потери –  $P_{пот}$  по формулам:

$$T_{ср прд} = \left. \frac{dF(Z)}{dZ} \right|_{Z=1}$$

$$D_{T_{ср прд}} = \left. \frac{d^2F(Z)}{dZ^2} \right|_{Z=1} + \left. \frac{dF(Z)}{dZ} \right|_{Z=1} - \left( \left. \frac{dF(Z)}{dZ} \right|_{Z=1} \right)^2$$

$$P_{ош} = F_2(Z)|_{Z=1}, P_{пот} = F_3(Z)|_{Z=1} \quad (3)$$

Учитывая равенство  $\mu = T_{ср прд}^{-1}$  и подставляя его в (2), получим:

$$T_{ср зад} = \lambda \cdot T_{ср прд} \cdot \frac{1}{\lambda \cdot (1 - \lambda \cdot T_{ср прд})^{2(1-H)}} \cdot \frac{H}{1-H} \quad (4)$$

Следовательно, время доставки сообщений с учетом (3) и (4) будет определяться из следующего соотношения:

$$T_{ср дост} = \left. \frac{dF(Z)}{dZ} \right|_{Z=1} + \lambda \cdot \left. \frac{dF(Z)}{dZ} \right|_{Z=1} \times \left( \lambda \cdot \left. \frac{dF(Z)}{dZ} \right|_{Z=1} \right)^{\frac{1}{2(1-H)}} / \left( \lambda \cdot \left( 1 - \lambda \cdot \left. \frac{dF(Z)}{dZ} \right|_{Z=1} \right)^{1-H} \right)^{\frac{H}{1-H}} \quad (5)$$

Учитывая указанное выше, методику определения вероятностно-временных характеристик информационных технологий с учетом специфики протоколов можно представить в виде алгоритма, представленного на рис. 5.



Рис. 5. Алгоритм определения вероятностно-временных характеристик информационных технологий с учетом специфики протоколов

В соответствии с приведенным алгоритмом при заданных значениях интенсивности поступления потока сообщений и обслуживания определяется коэффициент загрузки (блок 1).

Для определения среднего времени задержки в очереди на обслуживание информационного потока устройством обработки при  $\rho < 0,5$  необходимо пользоваться зависимостью (1), а при  $\rho \geq 0,5$  – выражением (2).

Воспользовавшись математическим аппаратом ВВГ и производящих функций, при заданных значениях вероятностей состояний и относительных значений времени перехода из одного состояния в другое, а также применяемой технологии, определяющей структуру кодограмм информационного обмена, вычисляется среднее время выполнения исследуемого процесса (блок 10) и его дисперсию в соответствии с (3) (блок 11). Зная функции дуг конечного состояния  $f(P, t) = P \cdot Z^t$  (блок 4), при  $Z=1$  определяются вероятностные характеристики правильного приема, с ошибкой и потерей сообщения (блок 11).

Определив средние значения времени передачи (обслуживания) сообщения и задержки в очереди на обслуживание информационного потока устройством обработки, вычисляется среднее время доставки сообщения потребителю в соответствии с (5) (блок 12).

## Вывод

Учитывая достоинства и недостатки отдельных математических аппаратов, применяющихся по исследованию сетей, предложена комплексная методика анализа количественных характеристик процесса обмена данными в ТКС, учитывающая свойства информационного потока и специфику протоколов взаимодействия.

## Список литературы

1. Шварц М. Сети связи: протоколы, моделирование и анализ. В 2 ч.: Пер. с англ. – М.: Наука, Гл. ред. физмат. лит., 1992. – Ч. 1. – 336 с.
2. Клейнрок Л. Теория массового обслуживания: Пер. с англ. И.И. Грушко / Под ред. В.И. Неймана. – М.: Машиностроение, 1979.
3. Филлипс Д., Гарсия-Диас А. Методы анализа сетей: Пер. с англ. – М.: Мир, 1984.
4. Дэвис Д., Барбер Д., Прайс У. Вычислительные сети и сетевые протоколы. – М.: Мир, 1982.
5. Адаптивная компенсация помех в каналах связи / Ю.И. Лосев, А.Г. Бердников, Э.Ш. Гойхман, Б.Д. Сизов / Под. ред. Ю.И. Лосева. – М.: Радио и связь, 1988. – 208 с.
6. Захаров А.И. Основы передачи данных. – Л.: ВАС, 1985. – 157 с.
7. Крылов В.В., Самохвалова С.С. Теория телетрафика и ее приложения. – С.-Пб.: БХВ Петербург, 2005. – 288 с.
8. Лосев Ю.И., Ружкас К.М. Сравнительный анализ математического аппарата моделирования телекоммуникационных сетей // Системы обработки информации. – Х.: ХУ ИС, 2007. – Вып. 8 (66). – С. 55-60.

Поступила в редколлегию 9.01.2008

**Рецензент:** д-р техн. наук А.В. Лемешко, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.