

УДК 623.61:005.6

А.А. Цыбизов**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СЕТЕЙ СВЯЗИ**

Рассмотрены различные подходы выбора показателей, используемых в настоящее время для оценки эффективности сетей связи. Обосновано использование для оценки эффективности сети связи Ливн обобщенного показателя. Дано определение оптимальной рабочей точки по нагрузочным характеристикам для элемента сети связи, описываемого системой массового обслуживания.

Ключевые слова: система массового обслуживания, показатели оценки эффективности сети связи, эффективность сети связи.

Введение. В теории сетей связи вопросам оценки эффективности создания и эксплуатации сетей всегда уделялось большое значение. Несомненно, что совершенствование и развитие сетей связи и сетевых технологий обуславливается не только возрастанием потребностей пользователей в услугах связи и ростом требований к качеству обслуживания, но и стремлением к повышению эффективности сетей связи. Объективность сравнительной оценки сетей по показателю эффективности может являться основой тарификации.

Целью данной статьи является повышение точности и объективности технико-экономического анализа разрабатываемой сети связи Ливн за счет введения обобщенного показателя оценки эффективности.

В настоящее время известны различные подходы к выбору показателей, используемых для оценки эффективности функционирования сетей связи.

Основная часть. Для оценки информационной эффективности функционирования одноканальной сети связи применяется коэффициент использования канала по пропускной способности η , который определяется как отношение скорости передачи информации V к пропускной способности канала связи C : $\eta = V / C$ [1]. Параметр предлагается использовать для оценки информационной эффективности многоканальной системы связи.

Максимальный трафик γ_0 , который может быть передан сетью, представляет собой пропускную способность. Сбалансированность производительности сети связи γ и средней временной задержки t_g достигается в рабочей точке $\gamma^* = \gamma_0 / 2$ [2], обеспечивающей максимальное

значение мощности P . Данный показатель не раскрывает полностью свойства процесса передачи данных в сети связи, а определяет только скорость выдачи данных системой связи.

Его основным недостатком является то, что он не дает полную характеристику канала связи с памятью, так как определяет только скоростные его способности.

Показатель, предлагаемый в [2], используется для оценки коммуникационной сети связи. Он заключается в определении суммарной скорости выдачи сообщений пользователям и рассматривается как производительность сети связи Π . Данный показатель не раскрывает всех свойств процесса передачи данных в сети связи, а определяет только скорость выдачи данных системой связи. Он не является обобщенным, так как не учитывает динамические свойства сети связи, характеризующиеся задержкой при передаче информации внутри нее и точностью передачи данных.

Показатель мощности сети связи введен в [3] для использования при управлении потоком в сети связи и связывает пропускную способность $C(v)$ и среднюю временную задержку в сети t_g соотношением

$$P = \frac{C(v)}{t_g},$$

где v – входная скорость поступления пакетов данных в сеть.

Он не является обобщенным, так как не учитывает свойства помехоустойчивости сети связи, характеризующиеся точностью передачи данных.

Показатель кибернетической мощности K сети связи предложен для оценки ее информационных возможностей [4] и получается умножением количества информационных сообщений

N , находящихся в системе связи в процессе хранения и в процессе передачи внутри системы, на производительность сети связи Π , усредняемые за заданный временной интервал t : $K = N\Pi/t$ [4]. Если параметр t рассматривается как гарантированное время передачи сообщений, то N определяет максимально допустимое число сообщений, которое может находиться в сети связи. Показатель K позволяет производить оценку предельных возможностей сети связи по передаче пользовательского трафика, отображая ее свойства по хранению данных в процессе передачи, маршрутизации и производительности.

Параметр кибернетической мощности применим для оценки информационной эффективности сети связи сопоставлением ее производительности и предельных возможностей по передаче сообщений. Однако при этом производится косвенная оценка основного показателя процесса передачи данных – среднего времени доставки и не учитываются свойства помехоустойчивости сети связи, характеризующиеся точностью передачи данных.

Итак, с учетом проведенного анализа для оценки эффективности сети связи Ливн предлагается использовать показатель оценки эффективности, который является обобщенным и определяет общий полезный эффект проектируемой системы либо сети связи в целом. Данный обобщенный показатель представляет собой объем сети связи W , определяемый в метрическом пространстве Φ частными показателями качества функционирования, такими как производительность – Π , скорость – V и точность передачи информации – T . Точность T численно равна количеству сообщений, принимаемых в единицу времени без учета сообщений, принятых с необнаруженной ошибкой, потерянных в сети и доставленных не по назначению, то есть $T = \Pi - \Delta\Pi$, где $\Delta\Pi$ суммарное количество сообщений, не доставленных точно и измеряемое в *сообщ/с*.

Класс показателей качества функционирования выделен на основе классификации показателей сети [5], в соответствии с которой определены основные классы показателей сети связи, такие как класс А – показателей качества функционирования сети, класс В – класс показателей стабильности качества функционирования и класс Е – класс показателей эффективности. В отдельные классы выделены показатели, определяющие значения показателей качества функционирования сети связи – класс С; показатели системы эксплуатации, определяющие стабиль-

ность показателей качества функционирования – класс D; стоимостные показатели – класс F, влияющие на показатели эффективности. При этом в состав класса А входят производительность – Π и точность передачи информации – T , что отвечает положениям рекомендации МСЭ I.350. Данные показатели качества функционирования взаимосвязаны и значения одного или двух из них недостаточно для оценки сети.

Пространство показателей качества функционирования Φ является метрическим: для некоторой сети его подмножеств вводится отображение: $W_i : H_{ci} \rightarrow \Phi$, такое что $W_i = \Pi_i V_i T_i$ [5], где W_i является неотрицательной, счетно-аддитивной функцией, определяющей объем в *сообщ/с³* и представляющей собой меру на пространстве показателей качества функционирования сети, а H_c – нагрузочная способность сети связи. Каждой паре $H_{ci}, H_{cj} \in \Phi$ соотнесено вещественное число $\rho(H_{ci}, H_{cj})$, представляющее собой расстояние между элементами пространства, удовлетворяющее условиям теории меры (рисунок 1).

Вероятность своевременной доставки Q является интегральным показателем качества функционирования и характеризует производительность сети связи (среднюю интенсивность обслуженного потока $\lambda_{обсл}$) для заданной средней интенсивности входящего потока $\lambda_{вх}$ при обеспечении требований пользователя по времени и точности передачи.

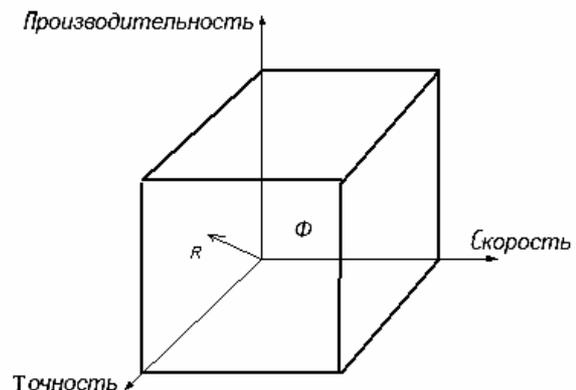


Рисунок 1 – Пространство показателей качества функционирования

Показатели качества функционирования являются компонентами вектора R в пространстве $\Phi = (\Pi, t_{\text{дос}}^{-1}, T)$. Процесс функционирования в Φ системы связи и любого из ее элементов может происходить только в рамках их максималь-

ных $T = T_{\max}$, $V = V_{\max}$, $\Pi = \Pi_{\max}$ нагрузочных способностей H_c (см. рисунок 1).

Пространство Φ является метрическим, для некоторой системы его подмножеств вводится отображение:

$W_i : H_{ci} \rightarrow \Phi$ при условии, что W_i – мера, которая представляет собой объем сети.

Нагрузочная способность [6] существует для любого элемента сети связи, ее участков и сети в целом. Она может быть вычислена аналитически, получена экспериментально путем измерений или сбора и обработки статистических данных. Одинаковыми и показателями характеризуются входящий в сеть и выходящий из сети потоки сообщений (интенсивность потока, интенсивность старения и достоверность).

Определение оптимальной рабочей точки по нагрузочным характеристикам для элемента сети связи, описываемого системой массового обслуживания, производится по двум характеристикам: с идеальным обслуживающим прибором и с ненадежным прибором. При этом рассматривается стратегия обслуживания, при которой поступившие при отказах обслуживающего прибора в занятую или свободную сеть сообщение ожидает восстановления, сколько бы раз прибор не отказывал в процессе обслуживания.

В плоскости $\Pi \times V$ нагрузочной способности имеем мощность P сети связи (некоторого элемента сети связи), характеризующую значениями показателей качества функционирования Π и V , представляемую площадью прямоугольника с соответствующими координатами.

Показаны оптимальные рабочие точки и выделены прямоугольники, площади которых равны максимальной мощности СМО идеальной $P_{ид}$ и с неидеальным обслуживающим прибором $P_{нид}$. Параметры оптимальной рабочей точки: $\Pi^* = \Pi(\lambda^*) = \Pi_{\max} / 2$, $T(\Pi^*) = 2 / \Pi_{\max} = 2T(0)$, где для СМО с идеальным обслуживающим прибором $\Pi_{\max} = \mu$ и $V_{\max} = \mu$, а с неидеальным обслуживающим прибором $\Pi_{\max} = \mu K_r$ и $V_{\max} = \mu K_r / (1 + \mu K_r K_n t_n)$, где K_r – коэффициент готовности сети связи, K_n – коэффициент простоя сети связи, t_n – время восстановления сети связи.

Оптимальные рабочие точки определяются на графике нагрузочных характеристик. В силу равенства подобных треугольников x_1 и x_2 , со-

относятся так же y_1 и y_2 , и соответствуют коэффициенту загрузки 0,5.

Л. Клейнроком [4] на характеристике время-производительность показано, что мощность, определенная как $P = \Pi/T$, является максимальной в точке, в которой прямая линия из начала координат становится касательной к характеристике. Эта точка соответствует состоянию, при котором среднее количество сообщений в сети точно равно единице [4].

Для оптимальной рабочей точки применимы следующие рассуждения. На характеристике время-производительность для $\Pi < \Pi^*$ справедливо, что $dT/T < d\Pi/\Pi$ и поэтому необходимо увеличить λ и тогда получим большее увеличение производительности, чем потеряем во времени доставки. Для $\Pi > \Pi^*$ имеем $dT/T > d\Pi/\Pi$ и следует уменьшить λ , снижая относительную задержку быстрее, чем, увеличивая относительную производительность. Очевидно, что надо стремиться к точке $\lambda = \lambda^*$, $\Pi = \Pi^*$, в которой относительное увеличение задержки точно равно относительному уменьшению производительности. Для получения $P = P_{\max}$ средняя интенсивность входного потока λ^* должна выбираться соответствующей оптимальной рабочей точке Π^* . В оптимальной рабочей точке производительность и время сбалансированы.

По полученным значениям отдельных показателей вычисляется обобщенный показатель объема объекта связи W , а при известных затратах определяется показатель эффективности, характеризующий удельную себестоимость объекта связи. В системе связи, [7] построенной на основе технологии коммутации пакетов, общий поток сообщений на входе в систему связи и модули маршрутизации, коммутации и адаптации (объекты транспортного и сетевого уровней ЭМВОС) имеют некоторую структуру общего трафика, представленного на рисунке 2, и объем трафика U , определяемый через сумму объемов U_j всех поступающих сообщений различных типов.

На рисунке 2 в общем виде представлена структура трафика, состоящего из трафиков трех видов U_1 , U_2 и U_3 , различающихся по требованиям к скорости передачи пакетов, интенсивности поступления пакетов, а также требуемой точности передачи.

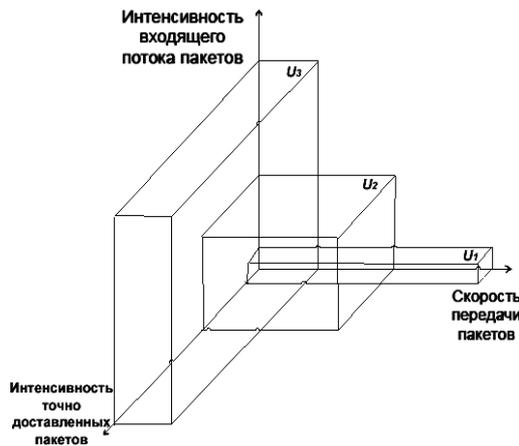


Рисунок 2 – Обобщенная структура трафика пользователей

Точность передачи пакетов трафика численно равна интенсивности точно доставленного потока (без искажений, без потери и засылки не по адресу).

Очевидно, что объем трафика, передаваемого сетью связи, ограничен ее нагрузочной способностью. При этом пространство качества функционирования сети связи ограничено ее нагрузочной способностью. Обеспечение передачи входного трафика с заданными требованиями может быть получено при различных вариантах построения сети связи, различающихся значениями нагрузочной способности, затратами на реализацию и эксплуатацию.

Построение метрического пространства позволяет вычислить показатель эффективности сети связи (Ливн), и на его основе проводить объективный сравнительный анализ сетей связи и их элементов, производить тарификацию услуг для пользователей и др.

Показатель Ливн представляет собой удельную себестоимость сети связи, отвечает концепции определения эффективности сложных систем целенаправленного действия, которая объективно выражается степенью достижения цели с учетом затрат ресурсов и времени на реализацию операции.

Наибольшему значению показателя объема W системы связи при одних и тех же затратах соответствует и наибольшее значение показателя эффективности Ливн. Максимальное значение объема W_{max} соответствует оптимальной рабочей точке функционирования системы связи и ее элементов, в которой “сбалансированы” отдельные показатели качества функционирования. Поддержание процесса функционирования сети связи в оптимальной рабочей точке является одной из основных задач в процессе использования сети по назначению.

“Сбалансированность” показателей производительности сети связи и скорости передачи наглядно представима на нагрузочной характеристике. Нагрузочная характеристика определена как зависимость между интенсивностью обслуженного потока сообщений и скоростью доставки сообщений. Нагрузочная характеристика для элемента, некоторого участка и сети связи в целом может быть вычислена аналитически, например, с использованием теории систем массового обслуживания, получена на имитационной модели и экспериментально путем измерений или сбора и обработки статистических данных.

В частном случае в плоскости $\Pi \times V$ нагрузочная характеристика обеспечивает наглядность определения оптимальной рабочей точки функционирования, характеризующейся максимальной эффективностью вследствие сбалансированности отдельных показателей.

Заключение. Таким образом, получение обобщенного показателя объема W сети связи, определяемого в метрическом пространстве Φ основных показателей качества функционирования (Π, V, T) , позволяет вычислить показатель эффективности сети связи Ливн, и на основании его производить объективную сравнительную оценку различных сетей связи, устанавливать тарифы за пользование ресурсами и др.

Проведенные компьютерные эксперименты на основе моделирования сети связи и исследования их информационной эффективности с использованием введенного в работе обобщенного показателя Ливн показали, что в 1,1 раза возрастает точность оценки объема W сети связи по сравнению с ранее известными методиками анализа.

Предлагаемый показатель эффективности Ливн может быть использован при создании новых и совершенствовании существующих сетей связи, независимо от их технологии: с коммуникаций сообщения, пакетов или каналов, интегральным обслуживанием. Показатель Ливн может быть применен и для оценки отдельных элементов сетей связи, а также средств реализации служб и услуг связи, функциональных модулей адаптации, маршрутизации и коммутации, переноса информации на канальном и физическом уровнях транспортной сети, а также автоматизированных систем управления сетями связи, систем технической эксплуатации и т.д.

Все операции по получению оценки объема сети связи, показателя ее эффективности и нагрузочных характеристик выполняются программным обеспечением и вычисляются простыми средствами компьютерной техники.

Библиографический список

1. Зюко А.Г. Помехоустойчивость и эффективность систем передачи информации. – М.: Радио и связь, 1985. – 272 с.

2. Шварц М. Сети связи: протоколы, моделирование и анализ / пер. с англ. – М.: Наука, 1992. – 157 с.

3. Giessler A., Koenig A., Haenle J., Pade E. Deadlock-Free Packet Networks GRUR. – 2006. – № 12.

4. Клейнрок Л. On flow control in computer networks. Computer Science Department University of California Los Angeles//California. – 2009.

5. Пасечников И.И. Методология анализа и синтеза предельно нагруженных информационных сетей. – М.: Машиностроение – 1, 2004. – 18 с.

6. Кудряшов В.А., Расчесова А.Г. Выбор системы показателей эксплуатационно-технического обслуживания сети передачи данных. – М.: Электросвязь, 1984. – № 1. – 51–53с.

7. ОСТ 4.091.280-87. Узлы коммутации пакетов и сообщений. Процедуры эксплуатационно-технического обслуживания. – М.:Изд-во стандартов, 1987. – 52 с.