

*С. Н. ИЕВЛЕВА*, канд. техн. наук, доц., ХНУРЭ, Харьков;  
*Е. С. ИЕВЛЕВ*, аспирант, ХНУРЭ, Харьков

## **АНАЛИЗ ВЕРОЯТНОСТНЫХ ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛЕЙ КОРПОРАТИВНЫХ КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ НА ОСНОВЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

Рассмотрена задача выявления узких мест компьютерной корпоративной сети с использованием коэффициента загруженности элементов, что позволяет с помощью метода статистических испытаний осуществить разбиение входящих в компьютерную сеть элементов по принадлежности их к критической, пограничной и рабочей зоне; показано, что имитационное моделирование является важной частью систем проектирования и управления ККС

**Ключевые слова:** компьютерная корпоративная сеть, коэффициент загруженности, узкое место, скорость передачи трафика, производительность.

**Введение.** В настоящее время, в условиях недостаточного финансирования информационных технологий на предприятиях, эффективность построения и функционирования корпоративных компьютерных сетей (ККС) является чрезвычайно актуальной задачей.

Наиболее распространенным подходом к проектированию и построению ККС является использование экспертных оценок, в соответствии с которым специалисты в области компьютерных сетей на основании своего опыта осуществляют проектирование сети, необходимой для обеспечения функционирования предприятия и решения поставленных задач. Этот подход позволяет быстро оценить стоимость реализации ККС и минимизировать затраты на этапе её проектирования, однако решения, полученные с использованием экспертных оценок, носят исключительно субъективный характер (например, требования к оборудованию, программному обеспечению и т.п.), что приводит к логичному вопросу об оценке работоспособности, эффективности и возможного развития проектируемой системы.

В качестве альтернативного подхода можно использовать имитационный метод моделирования работы ККС, который позволяет воспроизводить события, происходящие в реальной системе (процессы генерации сообщений приложениями, разбиение сообщений на пакеты определенных протоколов, задержки, связанные с обработкой сообщений, пакетов внутри операционной системы, процесс получения доступа компьютером к разделяемой сетевой среде, процесс обработки поступающих пакетов маршрутизатором и т.д.). Преимуществом имитационных моделей является возможность подмены процесса смены событий в исследуемой системе в реальном масштабе времени на ускоренный процесс смены событий в темпе работы программы. В результате за несколько минут можно воспроизвести работу сети в течение нескольких дней, что дает возможность оценить работу сети в широком диапазоне варьируемых параметров [1].

Целью данной работы является разработка метода анализа вероятностных параметров моделей ККС, на основе имитационного моделирования, позволяющего выявлять узкие места КС.

Требования к производительности корпоративных компьютерных сетей. Основным требованием, предъявляемым к ККС, является выполнение сетью ее основной функции – обеспечение пользователям потенциальной возможности доступа к разделяемым ресурсам всех компьютеров, объединенных в сеть. Все остальные требования – производительность, надежность, совместимость, управляемость, защищенность, расширяемость и масштабируемость – связаны с качеством выполнения этой основной задачи. [2]

Конечно, все требования важны, но чаще понятие «качество обслуживания» (Quality of Service, QoS) компьютерной сети трактуется более узко – в него включаются только две самые важные характеристики сети – производительность и надежность. [3]

Высокая производительность – это одно из основных преимуществ распределенных систем, к которым относятся ККС. Основные характеристики производительности сети [4]:

- время реакции;
- скорость передачи трафика;
- пропускная способность;
- задержка передачи и вариация задержки передачи.

Время реакции сети определяется как интервал между возникновением запроса пользователя к какой-либо сетевой службе и получением ответа на него. В общем случае время реакции складывается из нескольких составляющих [3]: время подготовки запросов на клиентском компьютере; время передачи запросов между клиентом и сервером через сегменты сети и промежуточное коммуникационное оборудование; время обработки запросов на сервере; время передачи ответов от сервера клиенту и время обработки получаемых от сервера ответов на клиентском компьютере.

Производительность сети может характеризоваться также скоростью передачи трафика. Скорость передачи трафика может быть мгновенной, максимальной и средней [4]. Средняя скорость определяется путем деления общего объема переданных данных на время их передачи, при этом рассматриваемый период времени должен быть достаточным, что бы можно было говорить об устойчивости случайной величины, которой является скорость; для определения мгновенной скорости усреднение проводится на маленьком промежутке времени (например, 10 мс или 1 с); максимальная скорость — это наибольшая скорость, которую разрешается достигать пользовательскому потоку в течение периода наблюдения.

При проектировании, настройке и оптимизации ККС чаще всего используются понятие средней и максимальной скорости. При этом средняя скорость, позволяет оценить работу сети на протяжении длительного времени, в течение которого в силу закона больших чисел пики и спады интенсивности трафика компенсируют друг друга. Максимальная скорость дает возможность оценить, как сеть будет справляться с пиковыми нагрузками, характерными для особых периодов работы, например в утренние часы, когда сотрудники предприятия почти одновременно регистрируются в сети и обращаются к разделяемым файлам и базам данных [3].

Пропускная способность – это максимально допустимая скорость обработки трафика, которая определяется стандартами сети. Она показывает, какой максимальный объем может быть передан в единицу времени (чаще всего это одна секунда). Эта величина не зависит от загруженности сети, так как отражает именно максимально возможную скорость. Чаще всего она измеряется в битах в секунду (в современных сетях обычно в мегабитах), однако также допустимо характеризовать пропускную способность сети по количеству переданных в единицу времени пакетов.

Учитывая, что пропускная способность непосредственно характеризует процесс транспортировки данных по сети, то этот показатель чаще других используют при анализе производительности сети.

Задержка передачи определяется как задержка между моментом поступления данных на вход какого-либо сетевого устройства или части сети и моментом появления их на выходе этого устройства. Этот параметр производительности по смыслу близок ко времени реакции сети, но отличается тем, что всегда характеризует только сетевые этапы обработки данных, без задержек обработки конечными узлами сети. Обычно качество сети характеризуют величинами максимальной задержки передачи и вариацией задержки. [3]

Стоит отметить, что оценка указанных характеристик позволяет решать массу задач на этапе проектирования и анализе функционирования компьютерных сетей.

Рассмотрим одну из приоритетных задач анализа производительности ККС – выявление узких мест. Решение поставленной задачи на этапе проектирования может быть осуществлено с использованием имитационного моделирования ККС и анализа вероятностных параметров, характеризующих производительность сети.

**Вероятностные параметры моделей корпоративных компьютерных сетей.** Для выявления узких мест ККС можно использовать такую характеристику производительности сети как скорость передачи данных. Очевидно, что скорость передачи данных является случайной величиной и зависит от многих факторов как внутренних, так и внешних.

Применение метода статистических испытаний для оценки параметров моделей ККС позволяет распространить вероятностный подход и на некоторые параметры, характеризующие скорость передачи данных в сети.

Введем понятие коэффициента загруженности элемента ККС, определяемого по формуле:

$$k_3(L) = W\{k_3(L)\},$$

где  $k_3(L)$  – коэффициент загруженности  $L$ -го элемента сети в момент времени, вычисляемого по формуле:

$$k_3(L) = \frac{\lambda_p(L)}{\lambda_{\max}(L)},$$

где  $\lambda_p(L)$  – реальная скорость передачи данных по  $L$ -му элементу сети,  $\lambda_{\max}(L)$  – максимальная скорость передачи данных по  $L$ -му элементу сети.

Для получения значения  $W\{k_3(L)\}$  необходимо многократно «разыграть» методом статистических испытаний скорость передачи данных в сети, каждый раз после «розыгрыша» фиксируя значение исследуемого коэффициента загруженности  $L$ -го элемента. Произведя достаточно большое количество

«розыгрышей»  $N$ , фиксируем верхний доверительный предел эмпирического распределения, состоящего из  $N$  значений  $k_3(L)$ .

Применение коэффициента загруженности элементов позволяет с помощью метода статистических испытаний осуществить разбиение входящих в компьютерную сеть элементов по принадлежности их к критической, пограничной и рабочей зоне.

Иными словами, все элементы, входящие в ККС должны быть отнесены к одной из трех зон:

а) критической зоне, к которой относятся все элементы с  $W\{k_3(L)\} < p_1$ , где значение  $p_1$  близко к нулю ( $p_1 \approx 0.1 \div 0.2$ );

б) рабочей зоне, которая объединяет элементы со значениями  $W\{k_3(L)\} > p_2$ , где  $p_2$  близко к единице ( $p_2 \approx 0.8 \div 0.9$ );

в) пограничной зоне, объединяющей элементы со средними значениями коэффициентов:  $p_1 \leq W\{k_3(L)\} \leq p_2$ .

При этом элементы, попадающие в критическую зону можно отнести к узким местам ККС.

Заметим, что алгоритм расчета вероятностных коэффициентов загруженности (и тем самым разбиения элементов, входящих в ККС, по зонам) может использовать и другой принцип, основанный на оценке вероятности попадания элемента в каждую из зон в случае конкретной реализации передачи трафика. Такая постановка вопроса, относительно вероятности для определенного, фиксированного элемента в случае реализации передачи трафика в ККС оказаться в критической зоне, то есть обладать коэффициентом загруженности, близким к нулю, является вполне корректной.

Заметим, что для всех ККС со случайными оценками продолжительности передачи пакетированных данных, мы в состоянии лишь оценить вероятность того, что элемент ККС будет иметь коэффициент загруженности, меньше  $p_1$ , то есть будет принадлежать к критической зоне. Действуя аналогичным образом в отношении всех входящих в ККС элементов, можно выделить группы, имеющие тенденцию лежать в критической зоне, и, наоборот, группу элементов, которые не попадают, как правило, на напряженные пути. Разбиение элементов, входящих в ККС, на «напряженные» и «ненапряженные» может быть проведено методом статистического моделирования (методом Монте-Карло) по следующей методике.

Зафиксируем две вероятности  $p_1$  и  $p_2$ , причем  $p_2 < p_1$ . Установим, что если вероятность  $p_i$  для элемента  $l$  оказаться критической (то есть иметь коэффициент загруженности близкий к нулю), меньше значения  $p_2$ , то элемент  $l$  относится к «напряженной» зоне. Если же значение элемента  $p_i$  больше величины  $p_1$ , относим элемент  $l$  ко второй, «ненапряженной» зоне. При наличии неравенства  $p_2 < p_i < p_1$  элемент  $l$  должен быть отнесен к третьей, «промежуточной» зоне. Моделируем продолжительность передачи пакетов данных по всем элементам, входящих в ККС, после чего определяем, какие из этих элементов (в ККС с фиксированными продолжительностями передачи данных по элементам) имеют коэффициент загруженности близкий к нулю – все эти работы будем считать «напряженными» и относящимися к «напряженной» зоне для случая одного «розыгрыша»

Множественно повторяя аналогичный «розыгрыш» ( $N$  раз), получаем для каждого элемента относительную частоту его попадания в «напряженную» зону  $\bar{p}_l = \frac{N_l}{N}$ , где  $N_l$  – количество случаев (из  $N$  «розыгрышей»), когда  $l$ -й элемент имеет значение  $k_3(L)$  близкое к нулю. На основе теории проверки статистических гипотез сопоставляем величины  $\bar{p}_l$ ,  $p_1$ ,  $p_2$  и принимаем решение, относить ли  $l$ -й элемент к первой («напряженной») группе, входит ли он во вторую («ненапряженную») или относится к третьей («промежуточной») зоне. Эта задача может быть решена на основании применения интегральной теоремы Муавра-Лапласа.

**Некоторые вопросы управления в вероятностных моделях корпоративных компьютерных сетей.** Как известно [2], этапы проектирования и управления ККС подразделяются на две самостоятельные стадии: стадию разработки исходного проекта ККС и стадию оперативного управления, причем первая стадия предшествует последней.

Одним из важнейших этапов стадии разработки исходного проекта ККС является расчет ожидаемой производительности как всей ККС, так и производительность важнейших элементов, входящих в ККС.

На стадии разработки исходного проекта необходимо прежде всего задаться желаемой доверительной вероятностью производительности ККС, то есть задать коэффициент доверия  $p_3$ . Величина задаваемого коэффициента доверия  $p_3$ , естественно, зависит от сложности и новизны разрабатываемой компьютерной сети.

Расчетная производительность разрабатываемой ККС для случая стохастической модели со случайными оценками продолжительности передачи трафика определяется вычитанием из исходной производительности величины соответствующего коэффициента загрузки. В то же время, согласно описанной выше методике, основанной на теории статистического моделирования, фиксируется верхний доверительный предел эмпирического распределения, состоящего из  $N$  значений  $k_3(L)$ , т.е. соответствующий коэффициент доверия  $p_d$ . Если значение коэффициента  $p_d$  меньше заданного  $p_d$  (или в случае, если величина  $p_d$  вследствие ее малого значения не может гарантировать необходимую производительность проектируемой ККС), сетевые администраторы проекта проводят детальный анализ сети и делают выводы о возможности оптимизации. Рассмотрим некоторые способы анализа временных оценок параметров ККС со случайными оценками продолжительности передачи пакетов данных по сети.

Доверительные оценки производительности разрабатываемой ККС, в целом, могут анализироваться в сопоставлении с производительностью сети, если принять продолжительность передачи пакетов данных по элементам ККС равными их средним значениям. Такой анализ целесообразно производить на стадии проектирования ККС после первого проверочного расчета производительности сети.

Рассмотрим четыре случая, которые могут возникнуть при сопоставлении производительности ККС с полученными оценками:

I. Производительность ККС несущественно отличается от исходной, а оценки

(например, при  $p = 0,7$  и  $p = 0,8$ ) существенно отличаются друг от друга. Причина такого явления может состоять в следующем. Предположим, что многократно была реализована передача данных, по элементам, входящим в ККС, то есть многократно было промоделирована работа сети. Существуют элементы, которые при многократной реализации модели имеют тенденцию лежать на наиболее напряженном пути модели, т. е. входить в «напряженную» зону. Они характеризуются весьма большой дисперсией для распределения вероятностей случайного времени выполнения передачи данных по ним. Последнее обстоятельство может объясняться двумя причинами:

а) либо нет возможности заранее объективно оценить оптимистическую и пессимистическую оценки времени передачи пакетированных данных по элементам сети, вследствие чего разброс значений около среднего делается значительным;

б) либо эксперты, задающие оптимистическое и пессимистическое время передачи пакета данных по элементам ККС по каким-либо причинам проявили необъективность или некомпетентность и сознательно или случайно расширили области определения времени передачи данных по сети. Конечно, в таком случае необходимо установить те элементы ККС, для которых расширена область определения времени передачи данных и провести сужения интервала  $(a,b)$ , где  $a$  и  $b$  – соответственно, оптимистическая и пессимистическая оценки. Стоит отметить, что количество таких элементов может быть очень велико.

II. Производительность ККС и оценки, определенные по средним значениям, отличаются друг от друга несущественно.

В этом случае можно говорить, что, если мы выполнили передачу данных по ККС, и повторили эту процедуру многократно, то в результате получили устойчивую тенденцию: оптимистичное время передачи пакетов данных по элементам ККС отличается друг от друга незначительно. Таким образом, можно говорить о качестве разработанной компьютерной сети.

III. Оценки при различных коэффициентах доверия существенно отличаются друг от друга.

В этом случае можно считать, что напряженные пути в разрабатываемой компьютерной сети отличаются друг от друга. Оценка времени передачи данных по элементам, лежащие на самом напряженном пути сети, имеют большие математические ожидания времени их выполнения, чем лежащие на следующем по напряжению пути, и т. д. Как и во втором случае, нет оснований считать, что разрабатываемая сеть требует существенной доработки.

Именно временные оценки, то есть ожидаемая производительность, являются одними из тех параметров модели сети, которые могут позволить оценить качество функционирования сети в целом (или по отдельным входящим в нее элементам). Конечно, необходимо в зависимости от важности, сложности или специфических требований проекта разумно выбрать соответствующий коэффициент доверия  $p$ .

Если администратор проектируемой ККС провел материальную или/и программную оптимизацию, то после завершения оптимизации и задания новых оценок продолжительностей передачи пакетированных данных необходимо вновь просчитать оценку (с тем же коэффициентом доверия  $p_d$ ), а полученный результат

вновь проанализировать с точки зрения эффективности функционирования разрабатываемой ККС.

Если новый полученный проект ККС также не обеспечивает приемлемого для руководства проекта значения  $p_d$ , процедура оптимизации повторяется вновь и вновь до получения удовлетворительного результата.

После анализа результатов полученных скорректированных проектов (в случае невозможности доведения  $p_d$  до желаемого уровня) принимается одно из решений: либо увеличить материальную или/и программную обеспеченность проекта (и тем самым увеличить значение  $p_d$ ), либо сохранить наилучший из проанализированных проектов, но пойти на риск неудовлетворения запросов пользователей со стороны производительности ККС. Так или иначе, после принятия окончательного решения можно зафиксировать меру гарантии – значение коэффициента доверия  $p_d$ .

**Выводы.** Проведенные исследования позволяют сделать вывод о том, что в настоящее время аппарат статистического моделирования можно использовать как один из основных методов расчета параметров компьютерных сетей со случайными оценками времени передачи пакетированных данных по элементам ККС. Таким образом, методы имитационного моделирования, а также, связанный с ними теоретико-вероятностный аппарат являются одной из важных составных частей систем проектирования и управления ККС.

**Список литературы:** 1. Васильев, К. К. Математическое моделирование систем связи [Текст] / К. К. Васильев, М. Н. Служивый. // Ульяновск : УлГТУ. – 2008. – 170 с. 2. Олифер В. Г. Компьютерные сети [Текст] / В. Г. Олифер, Н. А. Олифер. // СПб.: Питер. – 2006. – 939 с. 3. Общие принципы построения вычислительных сетей [Электронный ресурс] // Проект разработан Шлиончак Е. Т. [2006 – ]. Режим доступа: URL: <http://compnets.narod.ru/1-11.html>, свободный. 4. Смелянский Р. Л. Требования к компьютерным сетям [Текст] / Р. Л. Смелянский // М.: Издательский центр «Академия». – 2011. – 240 с. 5. Таненбаум Э. Компьютерные сети. 4-е изд. [Текст] / Э. Таненбаум // – СПб.: Питер. – 2003. – 992 с. 6. Столинс В. Современные компьютерные сети [Текст] / В. Столинс // – СПб.: Питер. – 2003. – 783 с. 7. Хелд Г. Технологии передачи данных. 7-е изд [Текст] / Г. Хелд // – СПб.: Питер. – 2003. – 720 с. 8. Новиков Ю. В. Аппаратура локальных сетей: функции, выбор, разработка [Текст] / Ю. В. Новиков, Д. Г. Карпенко // – М.: Изд-во ЭКОМ. – 1998. – 288 с. 9. Чаттелл Л. А. Анализ локальных сетей NetWare [Текст] / Лаура А. Чаттелл, Дэн Е. Хейкс // Пер. с англ. – М.: ЛОРИ. – 1995. – 596 с. 10. Челлис Дж. Основы построения сетей: учеб. руководство для специалистов [Текст] / Дж. Челлис, Ч. Перкинс, М. Стриб // Пер. с англ. – М.: ЛОРИ. – 1997. – 323 с.

**Bibliography (transliterated):** 1. Vasilev, K. K., Slugiviy, M. N. (2008) Mathematical modeling of communication systems. Ulyanovsk: UlSTU, 170. 2. Olifer, V. G., Olifer, N. A. (2006). Computer Networks. SPb.: Piter, 939. 3. Shlionchak, E. T. General principles of computer networks. *Computer Networks*. < <http://compnets.narod.ru/1-11.html> > (2015, January) 4. Smelyanskiy, R. L. (2011). Requirements for computer networks. - Moscow: publishing center "Academy", 240. 5. Tanenbaum, E. (2003). Computer Networks. SPb.: Piter, 992. 6. Stolings, B. (2003). Modern computer networks. SPb.: Piter, 783. 7. Held, G. (2003). Data transmission technology. SPb.: Piter, 720. 8. Novikov, Yu. V. (1998). Equipment LANs: function selection, development. - Moscow: Publishing House of ECOM. 288. 9. Chappell, L. A., Heyks, D. E. An analysis of local NetWare Networks. - Moscow: LORI. 596. 10. Chellis, J., Perkins, C., Strib, M. Networking Basics: A Training Manual for Professionals. - Moscow: LORI. 323.

*Надійшла (received) 18.12.2014*