

Методология расчета трафика в локальных сетях ЭВМ на основе экспериментально-численного моделирования

Н. А. Филимонова

Экспериментально-численный подход основан на численном моделировании процесса, при котором существенная часть данных, используемых в модели, берется непосредственно из результатов натурного эксперимента (экспериментов). Подход применяется в различных областях науки и техники. В данной статье описывается методология расчета трафика в локальных сетях ЭВМ на основе экспериментально-численного моделирования на примере расчета трафика от одной Интернет-службы – электронной почты.

Ключевые слова: трафик, Интернет, моделирование.

1. Введение

Расчет (прогнозирование, оценка) трафика в телекоммуникационных сетях является классической задачей, которой посвящено множество работ, начиная с классических по теории телетрафика [1–7]. Изменение технологий передачи данных формировало запросы на изменение методов расчета трафика. Так, если классическая теория телетрафика в значительной степени использовала методы теории массового обслуживания [8–10], то впоследствии возросла роль теории случайных процессов и теории графов (в самых широких ее применениях) [11–14]. Возросла роль различного типа моделирования [15–19], что было связано с тем, что развитие математических методов анализа передачи данных не всегда успевало за развитием технической базы связи, а с другой стороны – с появлением, а затем и широкой доступностью ЭВМ, сделавшими методы моделирования практически доступными для широкого круга специалистов в области связи.

Из широкого круга проблем расчета трафика выделяется задача расчета трафика в сетях ЭВМ. Быстрый (можно сказать, взрывной) рост числа ЭВМ и их объединение в различного рода сети [20, 21] делают задачу расчета трафика в сетях ЭВМ актуальной.

Различие масштабов (размеров) сетей оказывает естественное влияние на проблематику задачи расчета трафика в этих сетях. Имея в виду рассмотрение потоков данных, порождаемых службами Интернет, мы коснемся только задач расчета трафика в сетях ЭВМ.

Исторически сложилось, что наибольшее внимание уделялось задаче расчета суммарного трафика в сетях глобального или регионального уровней или больших корпоративных сетях, когда трафик является результатом активности многих тысяч пользователей, а масштаб времени измеряется сутками, неделями и месяцами [22, 23]. Спецификой суммарного трафика в таких сетях является то, что вопрос о вкладе в него той или иной службы Интернет не может быть поставлен в связи с «перемешиванием» (эргодичностью [24]) вкладов от единичных служб при несопоставимости объемов суммарного трафика и трафиков от единичных служб (единичных пользователей). Это приводит как к специальным моделям трафика, так и к специальным задачам и методам изучения трафика на глобальном уровне. Эти задачи и методы являются основными в данное время. С примерами моделей, задач и методов этого

типа можно ознакомиться в [25, 26] (см. там же ссылки на другие работы, общее число которых в настоящее время велико).

Автор рассматривает вопрос об объеме трафика в локальных сетях ЭВМ.

Вопрос о передаче данных в локальных сетях первоначально возник как актуальный во время первых опытов объединения ЭВМ в сети и был связан с несовершенством сетевого оборудования, точнее, практическим отсутствием стандартного сетевого оборудования и методов построения сетей. Затем этот вопрос практически не возникал, поскольку разработанные технические решения позволяли производить обмен достаточно ограниченными объемами данных на уровне локальных сетей без возникновения проблем. Вопрос об ограниченности ресурсов локальных сетей стал вновь возникать в последнее время в связи с ростом объема данных, передаваемых в локальных сетях, например, технологии Wi-Fi [27] и т.п.

Для автора вопрос моделирования потоков данных локальных сетей имеет, помимо прикладного, научный интерес. Все данные в сети Интернет имеют источник – пользователя, понимаемого в широком смысле, но зачастую – физическое лицо, и исследование потоков данных «у источника» представляется имеющим научный интерес. Изучение текущих источников литературы показало, что вопрос практически не изучен. Рассмотрение вопроса в предыдущих работах автора [29, 30] показало, что рассмотрение потоков данных в локальной сети приводит к возникновению самостоятельной модели генерирования данных, не тождественной ни моделям СМО [31], ни классическим моделям теории случайных процессов [32], ни имитационному моделированию генерирования пакетов [33]. Возникновение такой модели было основано на экспериментально обнаруженном и статистически обоснованном факте, что каждая служба Интернет создает (генерирует) специфический поток данных. Эти потоки являются случайными, но как таковые они четко идентифицируются и могут быть промоделированы, что было сделано для ряда Интернет-служб в работах автора.

В работе представлена методология применения экспериментально-численного подхода применительно к расчету трафика в локальных сетях ЭВМ, возникающего в результате использования Интернет-служб.

В настоящее время этот тип трафика является основным в сетях ЭВМ для массового пользователя, в связи с чем тема является актуальной.

Имея в виду изложение методологии, автор ограничился рассмотрением трафика, возникающего при использовании только одной службы Интернета – электронной почты. Рассмотрение общего случая производится по той же схеме [29, 30]. При этом (при необходимости) следует провести натурные эксперименты и получить модели элементарного потока – потока данных, создаваемого данной Интернет-службой. Хотя совместная работа нескольких служб является типичной ситуацией, автор не рассматривал этот случай, поскольку имеющиеся предварительные расчеты показывают, что изложение составило бы несколько статей как в связи с объемом, так и в связи с необходимостью излагать вопросы суммирования случайных потоков. Кроме того, вопрос осложнился бы междисциплинарным характером задачи. Именно, поток данных создается как работой Интернет-службы, так и работой пользователя. Если изучение работы служб Интернета относится прямо к компетенции автора, то изучение режима работы пользователей – сотрудников предприятия (учреждения) или частных лиц – относится к компетенции таких дисциплин, как организация и нормирование труда и социология [34]. Это требует изучения вопроса совместно с соответствующими специалистами.

2. Натурный эксперимент

2.1. Характеристика сети

Эксперименты по измерению трафика проводились на базе локальных компьютерных сетей 1-го корпуса Сибирского государственного университета телекоммуникаций и информатики (СибГУТИ). Данные о локальной сети взяты с сайта СибГУТИ (sibsutis.ru). Сеть построена по древовидной топологии с вершиной в Отделе информационных технологий. Коммутаторы ядра объединены в 20-гигабитный аппаратный стек. Характеристики локальной вычислительной сети СибГУТИ (ЛВС): гигабитные магистральные каналы; оптоволоконные линии связи; 100 компьютерных классов. Локальная сеть СибГУТИ объединяет подразделения университета, общежития СибГУТИ и подключена к сети Интернет по выделенным линиям.

Более 95 % персональных компьютеров и сетевой периферийной техники СибГУТИ подключены к ЛВС СибГУТИ с возможностью выхода в Интернет со скоростью до 300 Мбит/с. Все центральные и промежуточные узлы связи соединены между собой высокоскоростными оптическими линиями связи (1 Гбит/с.). Подключение ЛВС СибГУТИ к сети Интернет проходит по двум независимым магистральным каналам, предоставляемым разными операторами связи, что повышает надёжность и отказоустойчивость подключения и обеспечивает непрерывность бизнес-процессов. Общее число терминалов, имеющих доступ в Интернет, – 956.

2.2. Характеристика эксперимента

Экспериментальная составляющая описываемого метода основана на результатах элементарного исследования трафика, создаваемого различными Интернет-службами, и последующей статистической обработке этих результатов [29].

Элементарный поток, соответствующий работе электронной почты, имеет характерный вид. Сначала идет набор коротких дискретных импульсов (длительность большинства импульсов составляет 2 с). Завершается элементарный поток практически непрерывным потоком, имеющим длительность до 90 секунд и практически детерминированным. От сеанса к сеансу наблюдались незначительные случайные колебания скорости передачи в заключительном фрагменте потока.

В работе [29] получены статистические характеристики указанного элементарного потока. Они таковы: скорость передачи данных в импульсах меняется от 400 до 7500 байт/с.

Скорости передачи данных в пределах одного сеанса набора письма имеют тенденцию к росту. Тенденция роста может быть в первом приближении смоделирована путем задания приращения скоростей: **скорость в данном импульсе = скорость в предыдущем импульсе + приращение скорости.**

В таком случае скорости в соседних импульсах зависимы, кроме того, скорости во всех последующих импульсах зависят от скорости передачи данных в самом первом импульсе в самом наборе письма.

Параметры модели, характеризующие набор и отправку письма по электронной почте, представлены в табл. 1.

Таблица 1. Параметры элементарного потока

Название параметра	Значение параметра
Скорости в заключительном импульсе	0.1 – 8.81 Кб
Начальная скорость для первого импульса	1.2 – 2.9 Кб
Интервал времени между импульсами при наборе	64 – 68 с
Длительность импульса	0 – 2 с

В рамках математического описания элементарный поток почты является потоком с последствием.

3. Организация экспериментально-численного моделирования

3.1. Организация эксперимента

Программа для ЭВМ написана на языке С с последующей статистической обработкой. При этом при программном генерировании трафика использовался трафик, полученный из натурального эксперимента с указанными в табл. 1 параметрами.

На рис. 1 и 2 приведены трафик, измеренный экспериментально, и трафик, сгенерированный программой ЭВМ на основе модели, полученной путем обработки экспериментальных данных по измерению трафика Интернет-служб (подробности приведены в [29]). По оси абсцисс указано время в секундах, по оси ординат – скорость передачи, байт/с (количество переданных байт). В программе Tmeter время идет справа налево (рисунок с экрана ЭВМ, программа Tmeter), и время на рис. 1 обозначено справа налево. Для удобства сравнения на рис. 2 время тоже идет справа налево (в модели направление времени может задаваться произвольно, далее используется нормальное направление времени – слева направо).

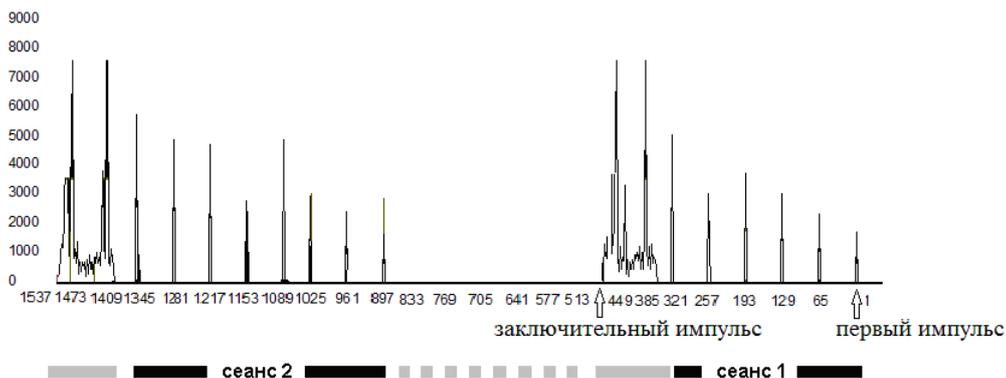


Рис. 1. Трафик «набор двух электронных писем». Экспериментальные данные

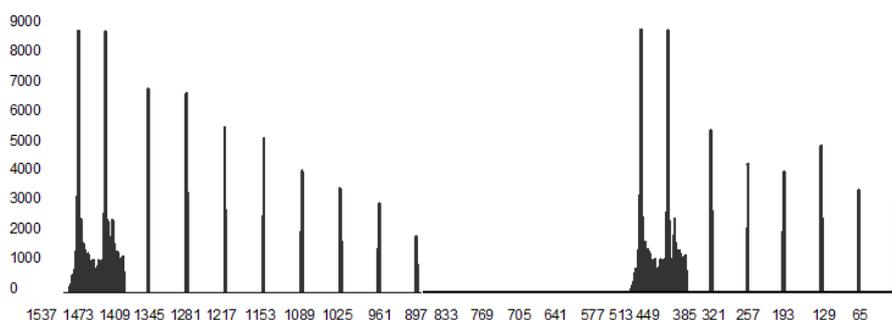


Рис. 2. Трафик «набор двух электронных писем», представленных на рис. 1, сгенерированный программой для ЭВМ

3.2. Результаты численного эксперимента

Эксперимент по измерению потока данных, создаваемого службой Интернета – электронной почтой, был проведен для числа пользователей от 1 до 2000. Суммарный поток – трафик – определяется двумя факторами – элементарными потоками, создаваемыми службами (в данном случае почтовой службой Интернета) и активностью пользователей. Характе-

ристики элементарного потока, создаваемого почтовой службой Интернета, приведены в табл. 1.

Вопрос изучения и получения параметров активности пользователей является предметом изучения социально-экономических наук, а сам вопрос определения трафика, как мы видим, является междисциплинарным вопросом, который должен базироваться на методах как технических, так и социально-экономических наук. Имея в виду методологический характер данной работы, мы провели расчеты, используя данные для частных случаев – экспериментов по набору типового электронного письма в студенческих группах СибГУТИ в рамках поведения занятий по курсу «Метрология, стандартизация и сертификация». Данные приведены в табл. 2.

Таблица 2. Параметры работы пользователей

Название параметра	Значение параметра
Интервал времени между наборами писем	10 минут
Время набора письма одним пользователем	6–7 минут

В численном эксперименте время непрерывной работы пользователей в указанном режиме взято равным 4 часам (половина рабочего дня).

Число пользователей в численном эксперименте варьировалось от 2 до 2000. Реальное максимальное число пользователей локальной сети, по-видимому, следует принять порядка 1000. Эту оценку можно обосновать тем, что число рабочих станций (компьютеров конечных пользователей), подключаемых к сети Ethernet, зависит от конфигурации сети. Максимальное количество станций, подключаемых к сети Ethernet, равно 1024 [28].

Ниже приводятся результаты статистической обработки данных экспериментов. Выделяются несколько этапов перестроения графика эмпирической плотности распределения скорости передачи данных.

На рис. 3–7 для количества пользователей от 1 до 10 представлены графики функций эмпирической плотности распределения скорости передачи данных. По оси абсцисс указаны суммарные скорости передачи данных в Кб, по оси ординат – их вероятности.

Этап 1. Один пользователь.

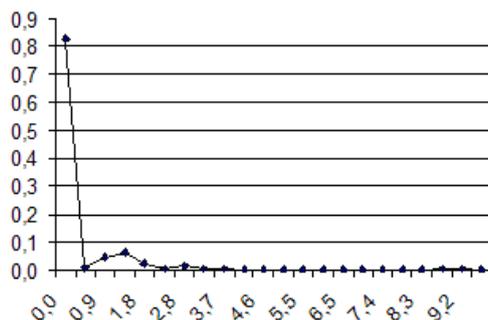


Рис. 3. Эмпирическая плотность распределения скорости передачи данных. 1 пользователь. Набор и отправление электронного письма

Этап 2. Бимодальная плотность распределения скорости передачи данных. Левый пик у графика соответствует случаям незанятости канала (трафик = 0). По оси абсцисс указаны скорости передачи данных в Кб, по оси ординат – их вероятности.

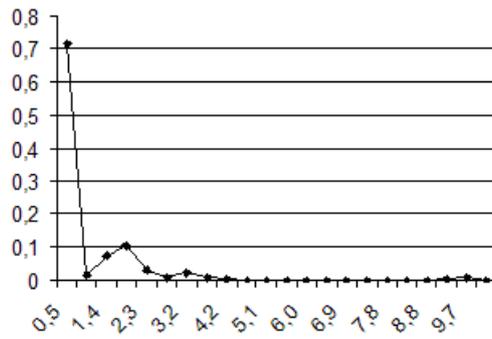


Рис. 4. Эмпирическая плотность распределения скорости передачи данных. 2 пользователя. Набор и отправление электронного письма

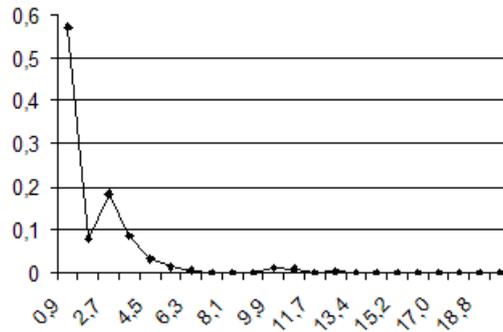


Рис. 5. Эмпирическая плотность распределения скорости передачи данных. 4 пользователя. Набор и отправление электронного письма

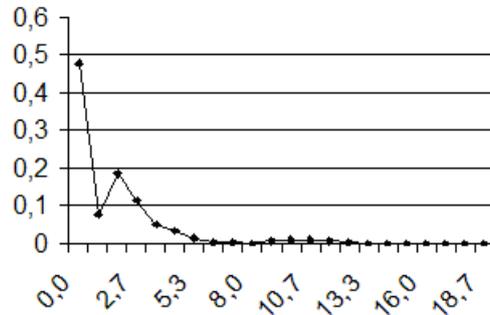


Рис. 6. Эмпирическая плотность распределения скорости передачи данных. 5 пользователей. Набор и отправление электронного письма

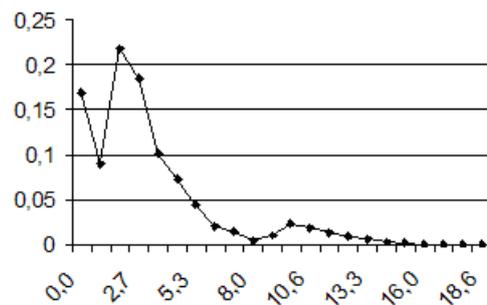


Рис. 7. Эмпирическая плотность распределения скорости передачи данных. 10 пользователей. Набор и отправление электронного письма

Этап 3. При числе пользователей, равном 20, прекращается незанятость канала и исчезает бимодальность в графике эмпирической плотности распределения скорости передачи данных. Исчезает пик эмпирической плотности распределения, соответствующий незанятости канала. Это происходит за счет того, что при числе пользователей менее 20 ненулевые фрагменты трафика отдельных пользователей (элементарных потоков почтовой службы) достаточно часто попадают «друг между другом» (рис. 8). При увеличении числа пользователей ненулевые фрагменты трафика отдельных пользователей начинают все в большей мере накладываться друг на друга (рис. 9). На рисунках по оси абсцисс указано время в секундах, по оси ординат – скорость передачи Кб/с (количество переданных Кб). На рис. 8, 9 показаны друг под другом три последовательных временных фрагмента каждый длительностью $\frac{1}{2}$ часа.

Этап 3 является основным для локальных сетей, поскольку число пользователей таких сетей составляет от нескольких десятков до нескольких сотен. Выяснение типа трафика в этом случае, типа соответствующего распределения скорости передачи данных и его параметров составляет основное содержание данной работы.

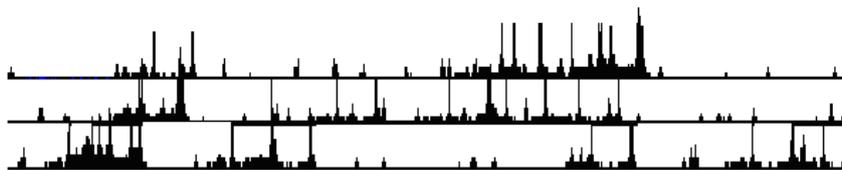


Рис. 8. Трафик при 5 пользователях. Результат компьютерного моделирования. Фрагмент вывода на экран ЭВМ. Около 50 % времени трафик – нулевой (канал «пуст»)

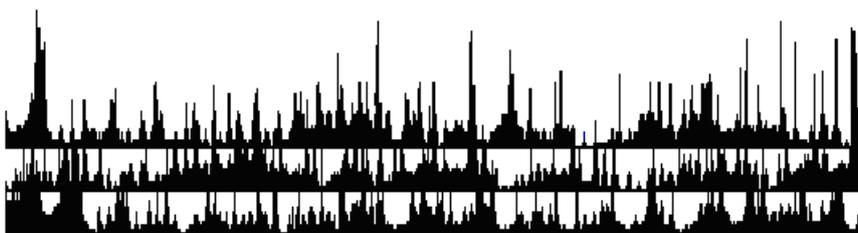


Рис. 9. Трафик при 20 пользователях. Результат компьютерного моделирования. Фрагмент вывода на экран ЭВМ. Канал практически все время используется

Этап 4. При количестве пользователей более 1000 начинается перестроение (изменение вида) графика эмпирической плотности распределения скорости передачи данных в направлении к нормальному закону. Однако это перестроение идет настолько медленно, что для числа пользователей, соответствующего реальным значениям числа пользователей локальных сетей, она не достигается. Как отмечено выше, максимальное число станций, подключаемых к сети Ethernet, – 1024.

Как показано далее, для реальных значений числа пользователей локальных сетей, которые находятся в интервале 10–1000, хорошей аппроксимацией эмпирической плотности распределения скорости передачи данных является гамма-распределение с показателями, зависящими от числа пользователей.

4. Построение функции распределения скоростей передачи данных

Подбор типа распределения и его параметров

На рис. 10–18 представлены графики эмпирических функций распределения для количества пользователей в интервале от 20 до 2000.

Для формулировки гипотезы о виде распределения были подсчитаны асимметрия:

$$\frac{n}{(n-1)(n-2)} \sum \left(\frac{x_i - \bar{x}}{s} \right)^3 \text{ и эксцесс: } \left\{ \frac{n(n+1)}{(n-1)(n-2)(n-3)} \sum \left(\frac{x_i - \bar{x}}{s} \right)^4 \right\} - \frac{3(n-1)^2}{(n-2)(n-3)}$$

эмпирических функций распределения (s – стандартное отклонение выборки). Полученные данные приведены в табл. 3 и 4.

Таблица 3. Асимметрия и эксцесс эмпирических функций распределения

Количество пользователей	20	30	50	100	200	300	400
Асимметрия	1.669	1.324	1.047	0.727	1.150	0.990	1.245
Эксцесс	1.622	0.818	-0.411	-1.081	-0.003	-0.559	0.054

Таблица 4. Асимметрия и эксцесс эмпирических функций распределения

Количество пользователей	500	600	700	800	900	1000	2000
Асимметрия	1.245	1.568	1.502	1.564	1.722	1.564	1.850
Эксцесс	0.054	1.276	0.918	1.099	2.087	1.234	2.396

Из таблиц следует, что подбор теоретического распределения должен производиться среди асимметричных распределений. Функции эмпирических функций распределения имеют характерный вид, сходный с графиками функций плотности распределения гамма-распределения. В связи с чем была сформулирована гипотеза о распределении полученных данных по гамма-распределению.

Функция плотности гамма-распределения задается формулой

$$f(x; \alpha, \beta) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}}, \quad x \geq 0,$$

где α и β – параметры функции распределения [35].

Подбор параметров гамма-распределения проводился методом перебора, критерием выбора параметров являлось наименьшее среднее квадратичное отклонение эмпирических функций распределения от графика функции $f(x; \alpha, \beta)$.

Подобранные значения параметров представлены в табл. 5.

Таблица 5. Количество пользователей и параметры гамма-распределения

Количество пользователей	20	30	50	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	2000
α	3	3.8	4	9.9	19	25	25.4	27.2	49	56.9	60	64	71	90
β	1.8	2.3	3.7	3	3	3.6	4.6	4.3	3.6	3.6	4	4.2	4.1	6.5

Графики функции $f(x; \alpha, \beta)$ при указанных в табл. 5 значениях параметров приведены на рис. 10–18. Визуально наблюдается хорошее совпадение между графиками эмпирических функций распределения и графиками функций плотности распределения гамма-распределения. По оси абсцисс указаны скорости передачи данных в Кб, по оси ординат – их вероятности.

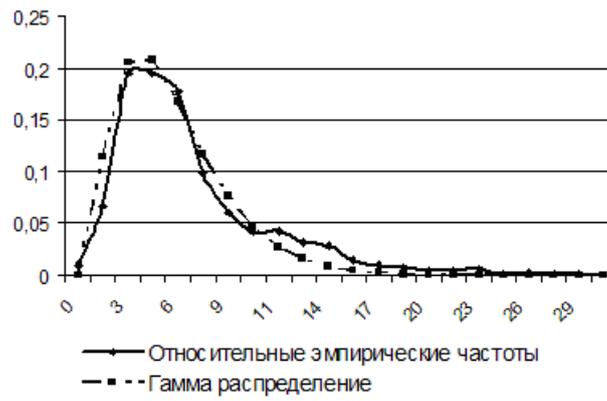


Рис. 10. Количество пользователей – 20



Рис. 11. Количество пользователей – 50



Рис. 12. Количество пользователей – 100



Рис. 13. Количество пользователей – 200



Рис. 14. Количество пользователей – 500

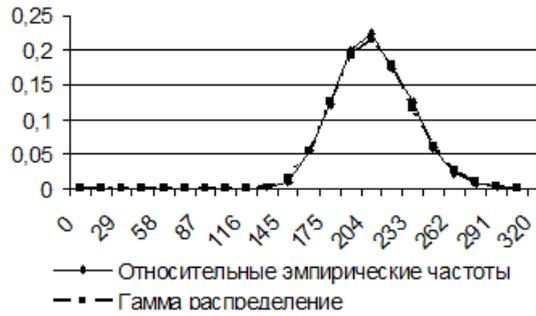


Рис. 15. Количество пользователей – 700

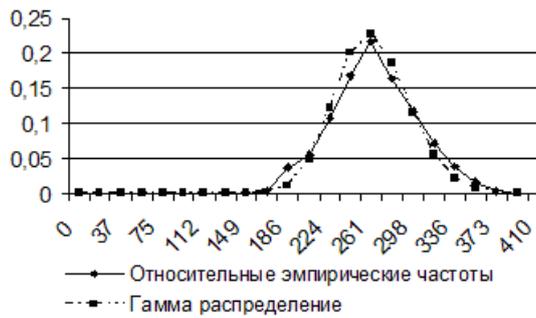


Рис. 16. Количество пользователей – 900

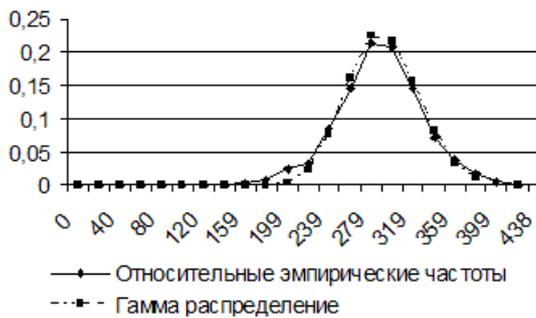


Рис. 17. Количество пользователей – 1000



Рис. 18. Количество пользователей – 2000

5. Проверка гипотезы о согласованности выборочных распределений с гамма-распределением

Проверка гипотезы. Для оценки степени согласованности теоретического и статистического распределений применялся критерий А. Н. Колмогорова, состоящий в следующем: в качестве меры расхождения между теоретическим и статистическим распределениями рассматривается максимальное значение модуля разности между статистической функцией распределения $F^*(x)$ и соответствующей теоретической функцией распределения $F(x)$:

$$D = \max |F^*(x) - F(x)|.$$

Критическое значение критерия Колмогорова вычислялось по формуле: $\lambda = D\sqrt{n}$, где n – количество относительных эмпирических частот. Вероятность распределения $P(\lambda)$ определялась по таблице [36]. $P(\lambda)$ – вероятность того, что за счет чисто случайных причин максимальное расхождение между $F^*(x)$ и $F(x)$ будет не меньше, чем фактически наблюдаемое [36].

Если значение вероятности $P(\lambda)$ близко к 1, то принимается гипотеза о гамма-распределении эмпирических частот выборочных значений скорости передачи данных при работе с электронной почтой. При значении вероятности $P(\lambda)$, близком к нулевому, данная гипотеза отвергается.

Гипотеза: выборка произведена из генеральной совокупности, имеющей гамма-распределение с параметрами, указанными в табл. 5.

Полученные значения λ и $P(\lambda)$ включены в табл. 6.

Таблица 6. Критическое значение критерия Колмогорова λ и значения вероятностей распределения $P(\lambda)$

Количество пользователей	20	30	50	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	2000
λ	0.741	0.567	0.665	0.277	0.634	0.375	0.553	0.525	0.518	0.535	0.531	0.497	0.423	0.772
$P(\lambda)$	0.711	0.964	0.864	1	0.864	1	0.964	0.964	0.964	0.964	0.964	0.997	0.997	0.711

Т.к. значения вероятностей $P(\lambda)$ из табл. 6 близки к 1, то согласно критерию Колмогорова принимаем гипотезу о гамма-распределении эмпирических частот.

6. Влияние характеристик работы пользователей на величину трафика в локальной сети

Во введении отмечалась зависимость потока данных от специфики работы пользователя. Проиллюстрируем это влияние на примере зависимости характеристик трафика от типа распределения характеристик работы пользователя.

Одной из характеристик работы пользователей является время между окончанием очередного сеанса работы с почтовой службой (точка T_K) и началом следующего сеанса работы с почтовой службой (точка T_H). Величина $T_H - T_K$ является случайной. В рассмотренных моделях работы пользователя она предполагалась равномерно распределенной на заданном отрезке (в представленных расчетах – на отрезке длительностью 10 минут, см. табл. 2). Математическое ожидание $T_H - T_K$ в этом случае равно $\frac{T_H - T_K}{2}$.

Широко используемым при моделировании интервалов между очередными «активностями» пользователя является показательный закон распределения [37]. Приведем результаты экспериментально-численного моделирования для этого случая.

Элементарный поток, создаваемый почтовой Интернет-службой, при изменении активности пользователя не меняется, он определяется характеристиками самой службы. А закон распределения величины $T_H - T_K$ заменим с равномерно распределенного на показательный с тем же математическим ожиданием.

Результаты расчетов для 20 и 100 пользователей приведены на рис. 19 и 20. По оси абсцисс указаны суммарные скорости передачи данных в Кб, по оси ординат – их вероятности.



Рис. 19. Эмпирическая плотность распределения скорости передачи данных. Набор и отправление электронного письма 20 пользователей. Набор и отправление электронного письма



Рис. 20. Эмпирическая плотность распределения скорости передачи данных. Набор и отправление электронного письма 100 пользователей. Набор и отправление электронного письма

Параметры гамма-распределения для количества пользователей 20 и 100 при показательном распределении интервалов времени между сеансами работы пользователей представлены в табл. 7.

Таблица 7. Параметры функции гамма-распределения интервалов времени между сеансами работы

Количество пользователей	20		100	
	показательный	равномерный	показательный	равномерный
α	4.4	3	15.1	9.9
β	2	1.8	3.4	3

Коэффициенты асимметрии и эксцесса эмпирических функций распределения при показательном распределении интервалов времени между сеансами работы пользователей показаны в табл. 8.

Таблица 8. Коэффициенты асимметрии и эксцесса для показательного распределения интервалов времени между сеансами работы

Количество пользователей	20	100
Асимметрия	1.20044341	0.86264644
Эксцесс	0.57141566	-0.74605307

Как и для равномерно распределенных $T_n - T_k$, объем трафика имеет вид гамма-распределения. Параметры гамма-распределения приведены в табл. 8. В табл. 9 приведено значение λ и значения вероятностей $P(\lambda)$, обосновывающие принятие гипотезы о гамма-распределении объема трафика.

Таблица 9. Критическое значение критерия λ и $P(\lambda)$ для показательного распределения интервалов времени между сеансами работы

Количество пользователей	20	100
λ	0.46	0.51
$P(\lambda)$	0.997	0.964

7. Выводы

Экспериментально-численное моделирование является эффективным способом расчета трафика в локальных сетях ЭВМ. Его применение к расчету трафика, возникающего при использовании почтовой Интернет-службы, показало высокую статистическую надежность (достоверность) получаемых на его основе функций распределения трафика. В рассмотренных случаях критические вероятности, рассчитанные по критерию Колмогорова при выборе гамма-распределения с надлежащими значениями параметров, принимали значения на уровне 0.99–0.96.

Это позволяет рекомендовать предложенную методологию экспериментально-численного моделирования для расчета трафика в локальных сетях ЭВМ при использовании разнообразных Интернет-служб. В данной работе предложенная методика реализована для одного класса элементарных потоков, соответствующих электронной почте. Практически трафик является результатом работ многих Интернет-служб. Элементарные потоки для основных Интернет-служб: просмотр веб-страниц, пересылка файлов, Skype (аудио- и ви-

деорежимы) с их моделями и значениями параметров моделей описаны в [29]. Суперпозиция (сложение) потоков данных, возникающих в результате работы Интернет-служб данной локальной сети, происходит в маршрутизаторе, через который произведено подключение данной локальной сети к сетям более высокого уровня. При этом возникает вопрос об аддитивности суперпозиции. Вопрос является нетривиальным (например, процедуры сжатия данных очевидным образом нарушают принцип суперпозиции). В то же время для ряда широко используемых сетей, как следует из экспериментов автора [30], аддитивность имеет место с достаточной для инженерных расчетов точностью. Основным вопросом является суммирование возникающих потоков данных, которые являются случайными потоками с выраженным последствием. Рассмотрение указанного вопроса может быть произведено как аналитическими методами, так и путем численного анализа, но в любом случае требует отдельной статьи.

Проведенные расчеты указывают, что трафик зависит как от работы собственно Интернет-служб – элементарных потоков Интернет-служб, так и от режима работы пользователей. То есть задача расчета трафика в локальных сетях ЭВМ является существенно междисциплинарной. Для корректного моделирования трафика в локальных сетях ЭВМ необходимо располагать как характеристиками элементарных потоков Интернет-служб, так и статистическими характеристиками активности пользователей.

Выражение благодарности

Автор выражает благодарность за научные консультации при проведении экспериментов и написании статьи доктору физико-математических наук А. Г. Колпакову.

Автор выражает благодарность рецензенту за полезные замечания и указания на библиографические материалы.

Литература

1. Erlang A. K. Probability and telephone calls // *Nyt Tidsskrift for Matematik* B. 1909. V.20.
2. Erlang A. K. Losning af nogle Problemer fra Sandsynlighedsregningen af Betydning for de automatiske Telefoncentraler // *Elektroteknikerens*. 1917. V.13.
3. Харкевич А. Д. А. К. Эрланг – основоположник теории телетрафика. Методы развития теории телетрафика. М.: Наука, 1979.
4. Юрьев М. Ю. Определение числа соединительных линий между районными телефонными станциями // *Жизнь и техника связи*. 1925. № 5.
5. Базилевич К. В., Говорков В. А. Трафик и работа приборов соединения автоматических телефонных станций. М.: Связьиздат, 1933. 176 с.
6. Башарин Г. П., Бочаров П. П., Коган Я. А. Анализ очередей в вычислительных сетях. Теория и методы расчета. М.: Наука, 1989.
7. Башарин Г. П., Харкевич А. Д., Шнепс М. А. Массовое обслуживание в телефонии. М.: Наука, 1968. 247 с.
8. Коваленко И. Н. Теория массового обслуживания, Итоги науки. Сер. Теор. вероятн. 1963, ВИНТИ, М., 1965, С. 73–125.
9. Боровков А. А. Вероятностные процессы в теории массового обслуживания. М.: Наука, 1972. 368 с.
10. Бусленко Н. П. Моделирование сложных систем. М.: Наука, 1968. 355 с.
11. Гнеденко Б. В., Коваленко И. Н. Введение в теорию массового обслуживания. М.: Наука, 1966.
12. Клейнрок Л. Вычислительные системы с очередями. М.: Мир, 1973. 660 с.
13. Бенеш В. Э. Математические основы теории телефонных сообщений. М.: Связь, 1968.

14. *Григелионис Б. И.* О сходимости сумм ступенчатых случайных процессов к пуассоновскому // Теория вероятности и ее применение. 1963. Т. 8, В. 2. С. 189–194.
15. *Pollaczek F.* Über eine Aufgabe der Wahrscheinlichkeitstheorie. *Mathematische Zeitschrift* 32:64–100. 1930.
16. *Khintchine A. Y.* Mathematical theory of a stationary queue // *Matematicheskii Sbornik*. 1932. № 39 (4). P. 73–84.
17. *Лившиц Б. С., Пиеничников А. П., Харкевич А. Д.* Теория телетрафика. М.: Связь, 1979.
18. *Клейнрок Л.* Теория массового обслуживания. М.: Машиностроение, 1979. 432 с.
19. *Зелигер Н. Б., Чугреев О. С., Яновский Г. Г.* Проектирование сетей и систем передачи дискретных сообщений. М.: Радио и связь, 1984. 177 с.
20. *Олифер В., Олифер Н.* Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. 2е изд. Питер, 2003.
21. *Шварц М.* Сети связи: протоколы, моделирование и анализ: в 2-х ч. Ч. 1: Пер. с англ. М.: Наука, 1992. 336 с.
22. *Murizah Kassim, Mahamod Ismail and Mat Ikram Yusof.* Statistical analysis and modeling of internet traffic IP-based network for teletraffic engineering // *ARPN Journal of Engineering and Applied Science*. 2015. V. 10, № 3.
23. *Симаков Д. В., Кучин А. А.* Анализ статистических характеристик Интернет-трафика в магистральном канале // *T-Comm: Телекоммуникации и транспорт*. 2015. Т. 9, № 5. С. 31–35
24. *Боровков А.* Эргодичность и устойчивость случайных процессов. М.: Эдиториал, УРСС, 1999. 440 с.
25. *Белов С. Д., Ломакин С. В., Огородников В. А., Пригарин С. М., Родионов А. С., Чубаров Л. Б.* Анализ и моделирование трафика в высокопроизводительных компьютерных сетях // *Вестник НГУ. Серия: Информатика*. 2008. Т. 6, В. 2. С. 41–49.
26. *Огородников В. А., Пригарин С. М., Родионов А. С.* Квазигауссовская модель сетевого трафика // *Автоматика и телемеханика*. 2010. № 3. С. 117–130.
27. *Пролетарский А. В., Баскаков И. В., Федотов Р. А. и др.* Беспроводные сети Wi-Fi. 2-е изд. М.: НОУ «ИНТУИТ», 2016. 284 с.
28. *Хелд Г.* Технология передачи данных. СПб.: Питер, 2003. 720 с.
29. *Филимонова Н. А.* Модель элементарного потока данных в Интернете // *Вестник СибГУТИ*. 2013. № 2. С. 54–68.
30. *Филимонова Н. А.* Анализ сумм потоков данных, генерируемых Skype // *Материалы РНТК «Современные проблемы телекоммуникации», СибГУТИ*, 2015. С. 131–138.
31. *Шнепс М. А.* Системы распределения информации. Методы расчета. М.: Связь, 1979. 344 с.
32. *Свешников А. А.* Прикладные методы теории вероятностей. Изд. Лань, 2012. 480 с.
33. *Кельтон Д., Аверилл М.* Имитационное моделирование. Питер, 3-е изд., 2004.
34. *Организация и нормирование труда: учебник / В. Б. Бычин, С. В. Малинин, Е. В. Шубенкова; под ред. Ю. Г. Одегова.* М.: РУСАЙНС, 2017. 272 с.
35. *Королюк В. С.* Справочник по теории вероятностей и математической статистике. М.: Наука, 1985. 640 с.
36. *Теория вероятностей: учебник для вузов / Е. С. Вентцель.* М.: Высшая школа, 1999. 576 с.
37. *Овчаров Л. А.* Прикладные задачи теории массового обслуживания. М.: Издательство «Машиностроение», 1968. 325 с.

*Статья поступила в редакцию 05.06.2018;
переработанный вариант – 23.12.2018.*

Филимонова Нина Анатольевна

ст. преподаватель кафедры телекоммуникационных сетей и вычислительных средств
СибГУТИ (630102, Новосибирск, ул. Кирова, 86), e-mail: filipok_@mail.ru.

**A method for traffic calculation in a local computer network
based on experimental numerical simulation**

N. A. Filimonova

The main approach is based on numerical simulation of the process, by which a substantial part of the data used in the model is taken directly from full-scale real-time experiments. This approach can be applied in various fields of science and technology. This article describes the methodology for traffic calculation in local computer networks based on experiments and numerical simulation using as an example the Internet traffic originated from a single Internet service, namely, an e-mail agent.

Keywords: Internet traffic, local computer networks, Internet services, modeling.