

9. Модель физических характеристик сигналов / Б. Я. Советов, М. О. Колбанев, Т. М. Татарникова // Материалы VIII Санкт-Петербург. межрегион. конф. „Информационная безопасность регионов России“, 23—25 окт. 2013 г. СПб: СПОИСУ, 2013.

#### Сведения об авторах

- Михаил Олегович Колбанёв** — д-р техн. наук, профессор; Санкт-Петербургский государственный экономический университет, кафедра прикладных информационных технологий; E-mail: mokolbanev@mail.ru
- Екатерина Дмитриевна Пойманова** — Санкт-Петербургский государственный экономический университет, кафедра прикладных информационных технологий; ассистент; E-mail: e.d.romanova@gmail.com
- Татьяна Михайловна Татарникова** — д-р техн. наук, профессор; Санкт-Петербургский государственный экономический университет, кафедра прикладных информационных технологий; E-mail: tm-tatarn@yandex.ru

Рекомендована кафедрой  
прикладных информационных  
технологий

Поступила в редакцию  
28.04.14 г.

УДК 681.3

## М. О. КОЛБАНЁВ, Н. А. ВЕРЗУН, А. В. ОМЕЛЯН ОБ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СЕТЕЙ ПАКЕТНОЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

Исследуется зависимость энергопотребления сетей связи от алгоритмов формирования блоков данных при пакетной коммутации.

**Ключевые слова:** информационные технологии, энергопотребление сетей связи, коммутация пакетов, локальная сеть, старение информации.

Еще пионеры кибернетики, изучая информацию, отмечали, что любые информационные преобразования основаны на физических законах. Например, А. А. Ляпунов [1] указывал на ограничения пространства, времени и энергии при реализации информационных технологий, так как концентрация значительной массы знаков в ограниченном объеме пространства невозможна, а получение новых знаков и их передача в новый носитель за малое время, а также регистрация новых знаков посредством малых энергетических затрат неосуществимы. Р. Ландауэр [2] ставит знак равенства между информационными и физическими процессами, поскольку „информация физична“. Определение понятия „информация“, которое следует из работ Н. Винера [3], явно связывает информацию с ее физическими свойствами: „Информация — это обозначение содержания, полученное нами из внешнего мира в процессе приспособления к нему нас и наших чувств“.

Исследованию физических свойств информации уделялось недостаточное внимание до тех пор, пока действовал закон Г. Мура, в соответствии с которым объемные характеристики информационных систем росли экспоненциально. Однако в последние годы стало очевидным существование некоторого предела возможностей современных полупроводниковых технологий. В компьютерном мире этот предел называют точкой Стерлинга, который в 2012 г. предположил, что эксафлопсный рубеж окажется пределом развития современных суперкомпьютеров. Точка Стерлинга — это условное ограничение производительности суперкомпьютера, построенного на доступных технологиях.

Главным системным ограничением для суперсистем хранения, передачи и обработки данных является энергопотребление. В настоящее время крупные центры обработки данных, системы коммутации и маршрутизации, суперкомпьютеры потребляют в процессе своей работы

десятки мегаватт электроэнергии. Один маршрутизатор операторского класса, например, каждый год потребляет столько энергии, сколько выделяется при сжигании десятков тонн угля.

Особенностью современных информационно-коммуникационных технологий [4], использующих принцип фон Неймана, является необходимость многократных процессов сохранения, распространения и обработки данных. Это означает, что объемы энергии, потребляемые каждым информационным битом за время его жизненного цикла, увеличиваются многократно.

К числу главных причин энергетической неэффективности мощных информационных систем относятся затраты на распространение данных и сложность аппаратно-программного обеспечения. Одним из путей повышения энергоэффективности технологий распространения данных является рациональный выбор алгоритмов управления информационными потоками.

Сегодня коммутационные сети базируются в основном на технологии коммутации пакетов и в сетях доступа, и в глобальных сетях, которые разрабатывались в прошлом веке, когда никто не задумывался о пределах закона Г. Мура. Разработчики стремились к обеспечению совместной работы неоднородных сетей, повышению процента использования оборудования, экономии пропускной способности каналов и выполнению работы в реальном времени.

При рассмотрении сетевых технологий относительно энергии, потребляемой центрами коммутации и обработки данных в процессе оказания информационно-коммуникационных услуг [5], выделим, для упрощения, два основных процесса пакетной коммутации: обработку адресов и другой служебной информации (СИ) в процессе коммутации, формирование линейного кода для транспортировки данных по сети.

Согласно принципу Ландауэра [6], независимо от физики и технологии вычислительного процесса при потере 1 бита данных, как минимум, выделяется энергия, равная  $E = k_B \tau \ln 2$ , Дж, где  $k_B$  — постоянная Больцмана,  $\tau$  — температура, К, при которой ведутся информационные преобразования. Следовательно, количество энергии, потребляемой для обработки информации, зависит от объема данных, подлежащих обработке, а энергопотребление на формирование линейного кода зависит от количества бит транспортируемых данных.

Если зафиксировать в битах размер  $s$  информационной части блоков данных, распространяемых по сети, то объем данных, подлежащих распространению, может быть измерен в количестве таких блоков. Очевидно, что реальный объем распространяемых данных будет больше информационного на величину, соответствующую объему служебных данных, присоединяемых к каждому информационному блоку.

Параметр  $s$  будет влиять и на энергопотребление, поскольку изменение  $s$  приводит, в свою очередь, к изменению количества пересылаемых блоков данных и, соответственно, количества операций обработки служебных данных, а также к изменению количества бит, пересылаемых по каналу.

Обозначим через  $\eta_{обр}$ ,  $\eta_p$  — коэффициенты, учитывающие особенности используемых технологий обработки и распространения данных соответственно. Тогда для оценки количества энергии, потребляемой в процессе обработки и распространения данных, можно воспользоваться формулами [7]

$$E_{обр} = k_B \tau H(s) \eta_{обр}; \quad E_p = k_B \tau K(s) \eta_p, \quad (1)$$

где  $H(s)$  — количество обрабатываемых данных, бит;  $K(s)$  — количество бит, распространяемых по каналу.

Исследуем энергопотребление на обработку и транспортировку данных в процессе оказания услуги по доставке файла в локальной сети передачи данных (ЛСПД). Для моделирования процессов старения информации [8] используем аппарат систем массового обслуживания (СМО). Математические модели ЛСПД в дискретном времени представлены в работах [9, 10].

Для определенности предположим: ЛСПД однородна; на входы  $N$  станций пользователей поступают бернуллиевские потоки пакетов с параметром  $q_n$  на интервале  $T_0 = 1/V$ , где  $V$  — скорость передачи данных, бит/с; интенсивность входного потока пакетов  $\lambda_n = q_n/T_0$ , пакетов/с; метод доступа — синхронный временной; топология — шина; используется режим пакетной передачи, и файл длиной  $F$ , бит, разбивается на равные части размером  $s$ . Схема разбиения файла и формирования протокольных блоков (ПБ) транспортного (ТУ), сетевого (СУ) и канального (КУ) уровней приведена на рис. 1. Протокольные блоки образуются путем добавления соответствующих заголовков (ЗТУ, ЗСУ, ЗКУ).

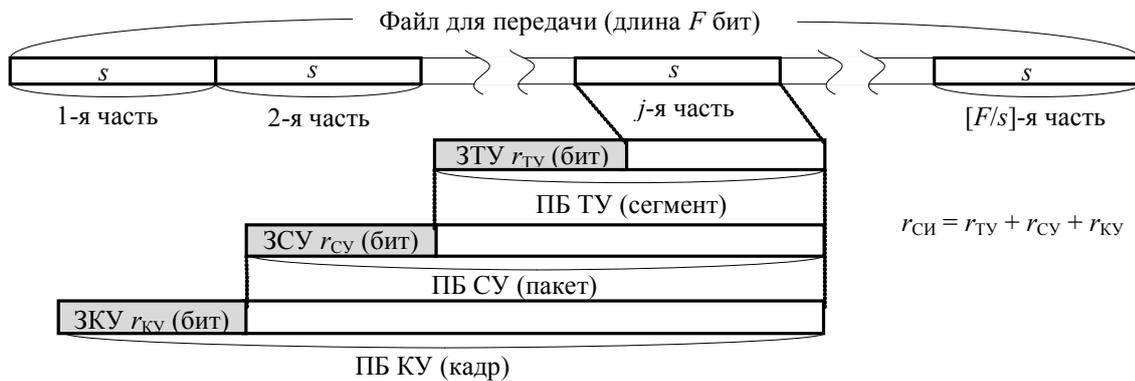


Рис. 1

Расчет длительности, в секундах, временного окна доступа при использовании алгоритма решающей обратной связи с ожиданием и передачей квитанции осуществляется по формулам

$$T = cV^{-1}, \quad c = \tilde{n}_k + r_0, \quad \tilde{n}_k = s + r_{СИ}, \quad r_0 = 4 \cdot 10^{-6} D_k V + n_{кв} + t_d V, \quad (2)$$

где  $c$  — длина временного окна доступа, выраженная в дискретном времени, бит;  $\tilde{n}_k$  — длина передаваемого кадра, бит;  $r_0$  — время (бит), затрачиваемое на передачу квитанции длиной  $n_{кв}$ , бит, и декодирование кадра и квитанции  $t_d$ , с;  $D_k$  — длина канала, км; в формат кадра входят (см. рис. 1) служебные поля длиной  $r_{СИ}$ , бит, и информационная часть  $s$ .

Математическая модель ЛСПД представляется в виде СМО  $M^1/G^1/1$  на интервалах  $T_0$  и задается совокупностью следующих выражений:

$$f_q(z) = \frac{(1-\Theta)(1-z)g(z)}{1-(1-q_n)z - q_n z g(z)}, \quad \Theta = q_n c N / Q, \quad \Theta < 1; \quad (3)$$

$$g(z) = \frac{Q}{z^{cN} - P}, \quad P = 1 - Q, \quad Q = (1-p)^{\tilde{n}_k},$$

где  $f_q(z)$  —  $z$ -преобразование ряда распределения (прр) времени задержки кадра в сети;  $g(z)$  —  $z$ -прр интервала обслуживания;  $Q$  — вероятность успешного обслуживания;  $\Theta$  — вероятность занятости буфера станции;  $p$  — вероятность ошибки в канале передачи.

В условиях неидеальной среды (когда  $p \neq 0$ ), до реализации доставки, возможно осуществление нескольких  $(0, 1, 2, \dots, v, \dots)$  попыток передачи кадра. Будем считать повторения передач независимыми. Тогда

$$g_a(v) = QP^{v-1}, \quad \bar{v} = 1/Q, \quad (4)$$

где  $g_a(v)$  — ряд распределения числа передач  $v$  с параметром  $Q$ : см. формулы (3);  $\bar{v}$  — среднее число передач.

Используя формулы (2)—(4), найдем выражения для вероятности своевременной доставки файла, количества обрабатываемых данных и количества бит, распространяемых по каналу при передаче файла длиной  $F$ , разбитого на части размером  $s$ :

$$\overline{\Pi_{qF}} = (\overline{\Pi_q})^{[F/s]}, \quad \overline{\Pi_q} = f_q(z) \Big|_{z=Q_{доп}^{-1}}, \quad Q_{доп} = 1 - T_0 / \overline{T_{доп}}, \quad (5)$$

$$H(s) = [F/s] \overline{vr_{СИ}}, \quad K(s) = [F/s] \overline{v}(s + r_{СИ}),$$

где  $\overline{\Pi_q}$  — вероятность своевременной доставки передаваемых кадров, рассчитываемая с учетом формул (3);  $\overline{T_{доп}}$  — среднее допустимое время доставки.

Предположим, что операции обработки служебной части передаваемых кадров и формирование линейного кода для передачи по каналу выполняет один и тот же процессор и  $\eta_{обр} \approx \eta_p = \eta$ . Тогда выражения (1) после подстановки в них формул (5) примут следующий вид:

$$E_{обр} = k_B \tau \eta \frac{[F/s] r_{СИ}}{Q}, \quad E_p = k_B \tau \eta \frac{[F/s](s + r_{СИ})}{Q}. \quad (6)$$

Рассмотрим, как влияет размер передаваемых блоков на энергозатраты, связанные с обработкой СИ и формированием линейного кода для передачи файла по ЛСПД, и на вероятностную характеристику — вероятность своевременной доставки файла при использовании физической среды передачи низкого ( $p=10^{-5}$ ) и высокого ( $p=10^{-8}$ ) качества.

Графики данных зависимостей представлены на рис. 2, а, б соответственно.

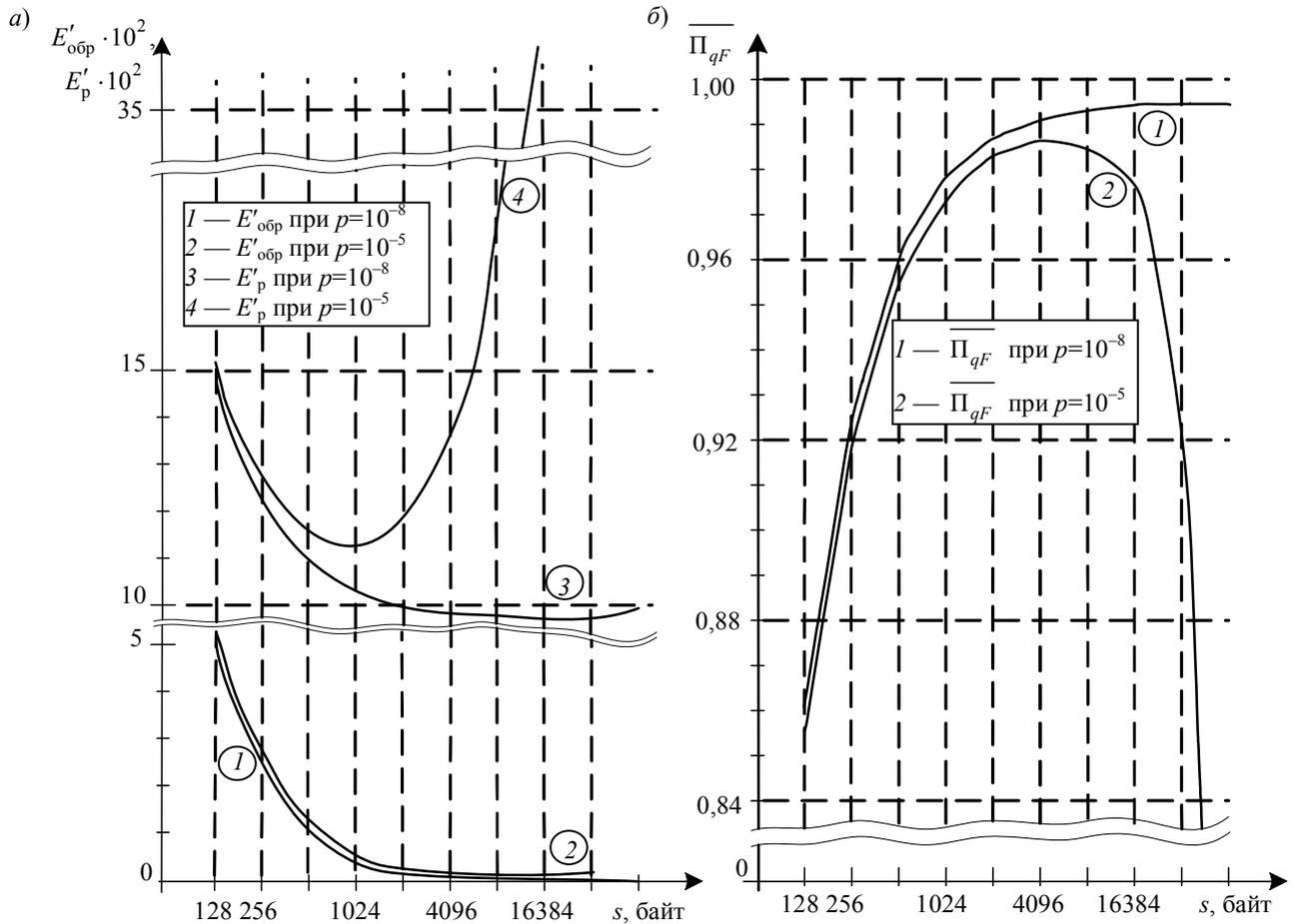


Рис. 2

Расчеты выполнялись при следующих исходных данных:  $N=20$ ,  $V=10^{10}$  бит/с,  $D_K=0,2$  км,  $\overline{T_{доп}}=0,2$  с,  $t_d=2 \cdot 10^{-6}$  с,  $\lambda_{и}=15$  пакетов/с,  $n_{кв}=32$  бит,  $F=65\,536$  байт,  $r_{СИ}=64$  байта. Данные зависимости (см. рис. 2, а) представлены в относительном виде, т.е.

$$E'_{\text{обр}} = E_{\text{обр}} / E_0, \quad E'_p = E_p / E_0,$$

где  $E_0$  — минимальное значение энергии, затрачиваемое на операцию (обработки или распространения); при указанных исходных данных за величину  $E_0$  принята энергия, затрачиваемая на обработку служебной информации при передаче пакетов разметом  $s = 65\,536$  байт.

Анализ результатов вычислений (см. рис. 2) показывает:

— качество канала (параметр  $p$ ) существенно влияет на энергопотребление ЛСПД; при определенных условиях существует такое значение  $s$ , при котором уровень потребления энергии минимален;

— оптимальные значения  $s$ , выбранные по критериям вероятности своевременной доставки пакетов и энергопотребления, не совпадают.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лянунов А. А. Проблемы теоретической и прикладной кибернетики. М.: Наука, 1980. С. 320—323.
2. Landauer R. Information is Physical // Proc. Workshop on Physics and Computation PhysComp'92 (IEEE Comp. Sci. Press). Los Alamitos, 1993. P. 1—4.
3. Винер Н. Кибернетика. М.: Сов. радио, 1968.
4. Двухуровневая модель информационного взаимодействия / Б. Я., Советов, М. О. Колбанёв, Т. М. Татарникова // Материалы VIII Санкт-Петербург. межрегион. конф. „Информационная безопасность регионов России“, 23—25 окт. 2013 г. СПб: СПОИСУ, 2013. С. 184—185.
5. Колбанёв М. О., Яковлев С. А. Модели и методы оценки характеристик обработки информации в интеллектуальных сетях связи. СПб: СПбГУ, 2002.
6. Landauer R. Irreversibility and heat generation in the computing process // IBM Journal of Research and Development. 1961. Vol. 5. P. 183—191.
7. Александров В. В., Кулешов С. В. Алгоритм и программа. Бит и джоуль. По пути прогресса — к новым достижениям: Сб. материалов / Под ред. Г. В. Анцева. СПб: Логос, 2006. С. 192—197.
8. Советов Б. Я., Колбанёв М. О., Татарникова Т. М. Оценка вероятности эрланговского старения информации // Информационно-управляющие системы. 2013. № 6. С. 25—28.
9. Суздальев А. В., Чугреев О. С. Передача данных в локальных сетях связи. М.: Радио и связь, 1987. 168 с.
10. Верзун Н. А. Модель пакетной передачи речи со сжатием в локальных сетях с интеграцией служб // Сети связи и распределение информации: Сб. науч. тр. учебных заведений связи. СПб: СПбГУТ, 1995. С. 45—49.

#### Сведения об авторах

**Михаил Олегович Колбанёв**

— д-р техн. наук, профессор; Санкт-Петербургский государственный экономический университет, кафедра прикладных информационных технологий; E-mail: mokolbanev@mail.ru

**Наталья Аркадьевна Верзун**

— канд. техн. наук, доцент; Санкт-Петербургский государственный экономический университет, кафедра прикладных информационных технологий; E-mail: dina\_25@hotmail.ru

**Александр Владимирович Омелян**

— канд. техн. наук, доцент; Санкт-Петербургский государственный экономический университет, кафедра прикладных информационных технологий; E-mail: omers27@mail.ru

Рекомендована кафедрой  
прикладных информационных  
технологий

Поступила в редакцию  
28.04.14 г.