

6. Roslyakov A.V. Svyazistam v pomoshch [Telecommunications companies to help]. *Vestnik svyazyi*, 2014, no. 12, p. 13.
7. Portal platform setey sledyustego pokolenya NGN [Next Generation Networks platform's portal]. Available at: <http://www.ngn.psuti.ru> (accessed: 21.09.2016).
8. Roslyakov A.V., Kudryavceva E.N., Lysikov A.A., Hayorov A.A. *Baza danih oborudovaniy multiservisnykh platform setey sledyustego pokolenya NGN* [The next generation network multiservice platform equipment data base]. The registration certificate of electronic resources, Electronic Resources Industry Foundation «Science and Education», Russia, №18650, 12.11.2012.
9. Roslyakov A.V., Kudryavceva E.N., Lysikov A.A., Hayorov A.A. *Portal platform setey sledyustego pokolenya NGN* [Next Generation Networks platform's portal]. The registration certificate of electronic resources, Electronic Resources Industry Foundation «Science and Education», Russia, №18651, 12.11.2012.
10. Roslyakov A.V. *Multiservisnye platformy setey sledyustego pokolenya NGN. Otechestvennyye sistemy* [Multiservice platforms of the Next Generation Networks. Vol. 1. Domestic manufacture systems]. Samara, PSUTI Publ., 2012. 312 p.
11. Roslyakov A.V., Grebeshkov A.U., Vanyashin S.V., Hayorov A.A. *Multiservisnye platformy setey sledyustego pokolenya NGN. Zarubezhnyye sistemy* [Multiservice platforms of the Next Generation Networks. V. 2. Foreign manufacture systems]. Samara, PSUTI Publ., 2012. 344 p.

Received 12.10.2016

УДК 004.312.24

УСЛОВНОЕ СРЕДНЕЕ ЗНАЧЕНИЕ ОЧЕРЕДЕЙ В СИСТЕМАХ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ С ПАКЕТНЫМИ ПОТОКАМИ ЗАЯВОК

Лихтциндер Б.Я.

Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Самара, РФ

E-mail: lixt@psati.ru

В статье рассматриваются системы массового обслуживания (СМО) с пачечными потоками заявок, характерными для современных мультисервисных сетей связи. Приведено обобщение формулы Хинчина-Поллячека на системы с потоками общего вида. Рассмотрены зависимости средних значений размера очереди при малых нагрузках системы. Показано, что на начальном участке наблюдается полное отсутствие очереди, обусловленное наличием минимального промежутка времени между соседними заявками. Вводится понятие условного среднего значения размера очереди, являющегося средним значением при условии отсутствия интервалов простоя процессора. Предлагается алгоритм аппроксимации зависимостей размеров очередей в системах массового обслуживания с пакетными потоками заявок. Рассмотрены временные задержки в очередях. Устанавливаются предельные степени загрузки, обеспечивающие заданные размеры очередей и временных задержек.

Ключевые слова: системы массового обслуживания, пачечные потоки, размеры очередей, мультисервисные сети, мультиплексирование, аппроксимация, коэффициент загрузки.

Введение

Любой пакетный трафик мультисервисных сетей связи является продуктом компьютерной обработки, выполняемой процессором при решении задач приложений. Решение каждой такой задачи состоит из трех последовательных этапов: получение исходных данных, процесс обработки и процесс выдачи результатов, причем трафик образуется именно на третьем этапе. Это и обуславливает его пачечный характер. Пакеты группируются в «пачки» в одних промежутках времени и практически отсутствуют в других промежутках [1].

Случайный процесс поступления заявок (пакетов) в систему характеризуется законом распределения, устанавливающим связь между значениями случайной величины и вероятностями появления указанных значений. В большинстве случаев такой поток характеризуется функцией распределения временных интервалов между соседними заявками. Имеется также множество работ, в которых потоки заявок характеризуются функцией распределения числа заявок за условную единицу времени.

В предыдущих работах [3-6] в качестве указанной единицы времени рассматривался

постоянный интервал времени τ обработки одной заявки. Было показано, что дисперсия и корреляционные свойства числа заявок, поступающих за интервал обработки, оказывают определяющее влияние на средний размер очереди. Для одноприборной системы массового обслуживания (СМО) на основании рекуррентного соотношения (1), где $m_i(\tau)$ и $q_i(\tau)$ – числа заявок, поступивших в течение i -го интервала τ , и размер очереди, образовавшейся на указанном интервале, соответственно,

$$q_i(\tau) = q_{i-1}(\tau) + m_i(\tau) - \delta_i(\tau). \quad (1)$$

$$\delta_i(\tau) = \begin{cases} 0, & \text{если } q_{i-1}(\tau) = m_i(\tau) = 0; \\ 1 & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Была установлена связь между средними размерами очередей $\overline{q(\rho)}$ и параметром загрузки ρ вида

$$\overline{q(\rho)} = \frac{E_m(\rho)}{2(1-\rho)}, \quad (2)$$

где $E_m(\rho) = D_m(\rho) + 2\text{Cov}_{q_{i-1}m_i}(\rho) - \rho(1-\rho)$;

$D_m(\rho)$ – дисперсия чисел заявок на интервалах обслуживания τ , а также

$\text{Cov}_{q_{i-1}m_i}(\rho) = [q_{i-1}(\rho) - \overline{q(\rho)}] \cdot [m_i(\rho) - \rho]$ – второй взаимный центральный момент указанных последовательностей, называемый корреляционным моментом, или ковариацией. Он определяется как математическое ожидание произведений центрированных значений элементов $q_{i-1}(\tau)$ и $m_i(\tau)$. Соотношение (2) обобщает формулу Хинчина-Поллячека [2; 7-10] и справедливо для любых стационарных и ординарных потоков заявок при постоянном времени обслуживания τ . Для пуассоновского потока $E_m(\rho) = \rho^2$, и формула (2) приобретает обычный вид: $\overline{q(\rho)} = \rho^2 / 2(1-\rho)$.

Применение указанной формулы для расчета очередей пачечных потоков приводит к погрешностям, превышающим сотни процентов. На рис. 1 представлены числа пакетов, поступающих в течение интервала τ (черные линии) и пуассоновского потока (серые линии), при одинаковой загрузке $\rho = 0,1$.

Видеотрафик по сравнению с пуассоновским обладает существенной неравномерностью и носит пачечный характер, что приводит к возникновению больших очередей.

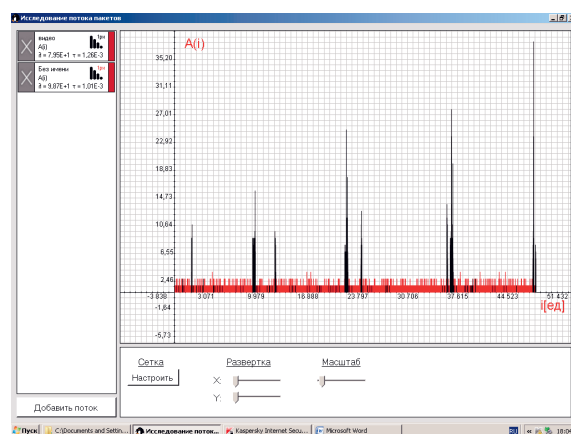


Рис. 1. Числа пакетов видеотрафика, поступающих в течение интервала τ (черные линии) и пуассоновского потока (серые линии)

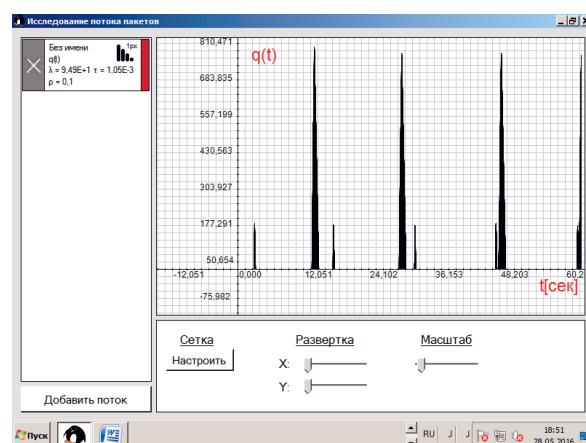


Рис. 2. График изменения мгновенных значений размеров очередей для видеотрафика

На рис. 2 показан график изменения размеров очередей для рассмотренного выше видеотрафика. Пиковые значения размеров очередей достигают 800 заявок (пакетов), в то время как для пуассоновского потока они не превышают пяти заявок.

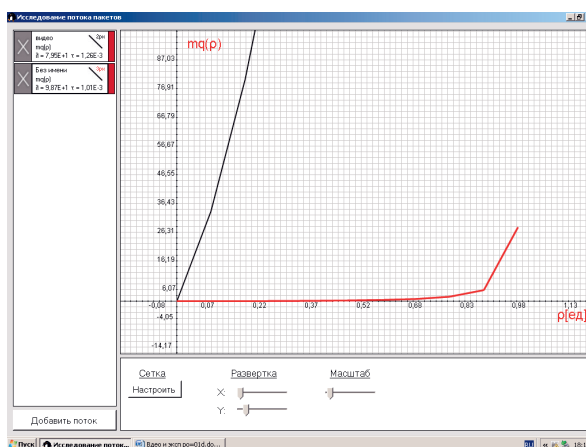


Рис. 3. Зависимости средних значений размеров очередей от изменения коэффициента загрузки ρ

На рис. 3 показаны зависимости средних значений размеров очередей $\overline{q(\rho)}$ от изменения коэффициента загрузки ρ для рассматриваемого видеотрафика и пуассоновского потока. Размеры очередей для пуассоновского потока несравнимо меньше, чем для потока видеотрафика. Поэтому для анализа видеотрафика следует применять обобщенную формулу (2).

Очереди при малых нагрузках

Размеры очередей в коммутаторах мультисервисных сетей определяют объемы буферной памяти, требуемой для их хранения, и размеры задержек пакетов в процессе их обработки. Для обеспечения допустимых значений указанных параметров необходимо соответствующим образом уменьшать нагрузку. Поэтому особый интерес представляет анализ характеристик трафика при малых значениях коэффициента загрузки ρ .

На рис. 4 для рассмотренного выше потока видеотрафика показан график изменения функции $\overline{q(\rho)}$ при значениях коэффициента загрузки, не превышающих $\rho = 0,1$. Из графика видно, что при малых нагрузках можно выделить три интервала изменения характеристики. На начальном участке, до некоторого значения ρ_0 , значения $\overline{q(\rho)}$ равны нулю. На промежуточном участке происходит нелинейное возрастание характеристики.

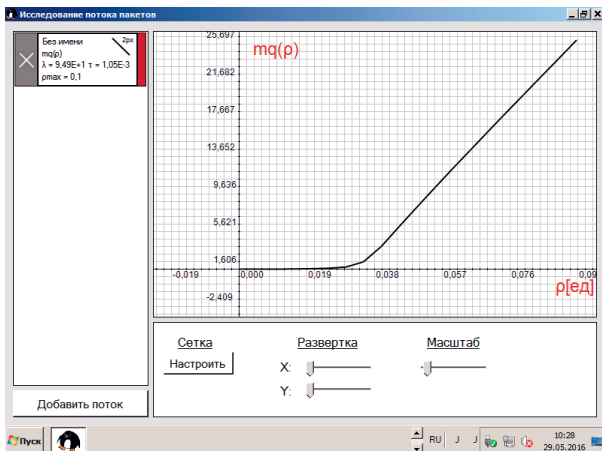


Рис. 4. График изменения $\overline{q(\rho)}$ для потока видеотрафика при $\rho < 0,1$

Далее характеристика изменяется почти линейно. Появление начального участка характеристики объясняется тем, что на этом интервале изменения коэффициента загрузки интервал времени обработки всегда остается меньше, чем минимальный промежуток времени $\mathcal{G}_{\min}$ между двумя соседними заявками, и в интервал τ не мо-

жет попасть более одной заявки. Дисперсия при этом определяется как $D_m(\rho) = \rho(1 - \rho)$. Подставляя это значение в (2), получим $\overline{q(\rho)} = 0$, что и следовало ожидать.

Введем понятие условного среднего значения размера очереди $\overline{Q(\rho)} = \overline{q(\rho)} / \rho$, которое представляет среднее значение очереди на каждом из интервалов τ , при условии активной загрузки процессора, и не учитывает наличия интервалов простоя. Из графика рис. 4 следует, что коэффициент загрузки $\rho = 0,03$ приблизительно соответствует среднему значению очереди $\overline{q(\rho)} = 1$. При этом $\overline{Q(\rho)} = 33$ заявки, что в 33 раза превышает среднее значение очереди $\overline{q(\rho)}$. Таким образом, среднее значение $\overline{q(\rho)}$ не отражает реальное состояние очередей и для характеристики размеров очередей следует ориентироваться на условные средние значения чисел заявок $\overline{Q(\rho)}$.

Аппроксимация

Для получения значений коэффициента загрузки ρ , обеспечивающих допустимые размеры очередей, особый интерес представляет функция $\rho(\overline{q})$, обратная представленной на рис. 4. Предлагается аппроксимировать зависимость $\rho(\overline{q})$ функцией

$$\rho(\overline{q}) = \rho_0 + a\overline{q} + b\sqrt{\overline{q}}, \quad \rho(\overline{q}) \geq \rho_0 \geq 0, \quad (3)$$

где $\overline{q}$ – максимально допустимое значение среднего размера очереди; $\rho(\overline{q}) = \overline{\rho}$ – максимально допустимое значение коэффициента загрузки; ρ_0 , a и b – постоянные коэффициенты, определяемые в процессе аппроксимации.

Зависимость $\rho(\overline{q})$, показанная на рис. 4, представляет обратную функцию

$$\overline{q(\rho)} = \frac{b^2}{4a^2} \left[\sqrt{1 + \frac{4a(\rho - \rho_0)}{b^2}} - 1 \right]^2 \quad \text{при } \rho \geq \rho_0;$$

$$\overline{q(\rho)} = 0 \quad \text{при } \rho < \rho_0,$$

с помощью которой и производится непосредственная аппроксимация.

Предлагается следующий алгоритм аппроксимации.

1. Устанавливается предельное значение изменения коэффициента загрузки $\rho_{\max}$.
2. Определяется шаг дискретизации по ρ , равный $\Delta\rho = 0,05\rho_{\max}$.
3. Путем перебора находится значение минимального интервала между двумя соседними заявками $\mathcal{G}_{\min}$.

4. Определяется значение $\rho_0 = \left\lceil \frac{\vartheta_{\min} \lambda}{\Delta \rho} \right\rceil \Delta \rho$, где $\left\lceil \frac{\vartheta_{\min} \lambda}{\Delta \rho} \right\rceil$ – округление до ближайшего целого числа начиная с нуля.

5. По имеющейся характеристике определяется предельное значение размера очереди $q(\rho_{\max})$.

6. Определяется предельное значение коэффициента $b_{\max} = \frac{\rho_{\max} - \rho_0}{q(\rho_{\max})}$.

7. Определяется предельное значение коэффициента $a_{\max} = \frac{\rho_{\max} - \rho_0}{q(\rho_{\max})^2}$.

8. Определяется шаг дискретизации по a и по b , равные $\Delta a = 0,01a_{\max}$ и $\Delta b = 0,01b_{\max}$, соответственно.

9. Начальное состояние: $\rho = \rho_0$, $a = 0$, $b = 0$.

10. Производится приращение $\rho = \rho_0 + \Delta \rho$.

11. Производится приращение $a = a + \Delta a$.

12. По формуле (2) определяется значение $q(\rho - \rho_0)$ и сравнивается с текущим значением $q(\rho)$.

13. Если $q(\rho - \rho_0) \geq \overline{q(\rho)}$, то приращение Δa вычитается из a .

14. Производится приращение $b = b + \Delta b$.

15. По формуле (2) определяется значение $q(\rho - \rho_0)$ и сравнивается с текущим значением $q(\rho)$.

16. Если $q(\rho - \rho_0) \geq \overline{q(\rho)}$, то приращение Δb вычитается из b .

17. Если в обоих пунктах 13 и 16 вычитания не произошло, то пункты 11-16 повторяются, пока хотя бы в одном из пунктов 13 или 16 произойдет вычитание.

18. Пункты 10-17 повторяются, пока значение ρ достигнет значения $\rho_{\max}$.

19. Окончательные значения коэффициентов a , b и ρ_0 являются искомыми для уравнения аппроксимации (3).

Коэффициент b может иметь отрицательное значение, в то время как коэффициент a всегда положителен. Следует заметить, что коэффициент ρ_0 определяется сразу и не меняется, в процессе аппроксимации $\rho_0 = \lambda \vartheta_{\min}$.

Для рассмотренного выше видеотрафика были получены следующие значения параметров аппроксимации: $\rho_0 = 0,025$; $a = 0,0024$; $b = 0,0019$. Интенсивность трафика $\lambda = 79,5$ пак/с.

Задержки в очередях

Учитывая, что $\bar{q} = \lambda \bar{W}$, где $\bar{W}$ – допустимое среднее время задержки в очереди, получим

$\rho(\lambda \bar{W}) = \rho_0 + a \lambda \bar{W} + b \sqrt{\lambda \bar{W}}$, где $\bar{\rho} = \rho(\lambda \bar{W})$ – максимально допустимое значение коэффициента загрузки, обеспечивающее допустимое среднее время задержки в очереди $\bar{W}$.

Полагая допустимое среднее время задержки в очередях коммутаторов $\bar{W} = 30$ мс, для рассмотренного выше видеотрафика получим максимально допустимое значение коэффициента загрузки $\bar{\rho}_i = 0,033$. Максимально допустимое значение среднего размера очереди $\bar{q} = 79,5$ пак/с $\cdot 0,03$ с = 2,38 пак. При этом условное среднее значение размера очереди $\bar{Q} = \frac{\bar{q}}{\bar{\rho}_i} = \frac{2,38}{0,033} = 72,12$ пакета, а среднепиковое значение, превышающее его в два раза, составляет 39,6 пакета.

Следовательно, при выборе размеров буферной памяти, как мы уже показали, необходимо ориентироваться на условные средние значения размеров очередей $\bar{Q}$. При этом размер памяти, требуемой для буферизации очереди, следует выбирать с двойным запасом, поскольку среднепиковые значения очередей почти вдвое превышают условные средние значения.

Для каждого конкретного кода типа i полоса пропускания определяется соотношением $f_{ki} = \lambda_i L_{si}$, где L_{si} – длина полезной части информации для кадра трафика. В результате получим

$$\rho_i = \rho_{0i} + a_i \frac{\bar{W}_i}{L_{si}} f_{ki} + b_i \sqrt{\frac{\bar{W}_i}{L_{si}}} f_{ki}. \quad (4)$$

Полагая длину полезной части информации для кадра трафика $L_{si} = 1$ Кбайт = 8000 бит, определим полосу пропускания для рассматриваемого видеокодека:

$$f_{ki} = 79,5 \text{ пак/с} \cdot 8000 \text{ бит/пак} = 640 \text{ Кбит/с}.$$

В этом случае пропускная способность F_i порта коммутатора, к которому подключается пользователь услуги, должна быть не менее $F_i = \frac{f_{ki}}{\bar{\rho}_i} = \frac{640 \text{ Кбит/с}}{0,033} = 19,4 \text{ Мбит/с}.$

Заключение

Предлагаемые интервальные методы позволяют обобщить формулу Хинчина-Поллячека и при заданном коэффициенте загрузки охарактеризовать трафик любого приложения с помощью двух параметров, непосредственно связанных с размерами очередей и задержек, которые возникают в СМО с заданной пропускной способностью.

ностью. Показано, что средние значения $\overline{q(\rho)}$ не отражают реальное состояние очередей и при выборе размеров буферной памяти следует ориентироваться на условные средние значения чисел заявок $\overline{Q(\rho)}$. Именно условные средние значения определяют пропускную способность порта коммутатора. Несмотря на то что полоса пропускания для рассматриваемого кодека составляла 640 Кбит/с, пропускную способность порта коммутатора, к которому подключается пользователь услуги, следует выбирать не менее 19 Мбит/с. В противном случае будут наблюдаться временные задержки, превышающие допустимые значения.

Литература

1. Степанов С.Н. Теория телетрафика. Концепции, модели, приложения. М.: Горячая линия – Телеком, 2015. – 808 с.
2. Клейнрок Л. Вычислительные системы с очередями. Т.2. Пер. с англ. М.: Мир, 1979. – 600 с.
3. Лихтциндер Б.Я. Интервальный метод анализа трафика мультисервисных сетей // Модели инфокоммуникационных систем: разработка и применение. Приложение к журналу ИКТ. Вып. 8, 2011. – С. 101-152.
4. Лихтциндер Б.Я. Интервальный метод анализа трафика мультисервисных сетей доступа. Самара: ПГУТИ, 2015. – 121 с.
5. Лихтциндер Б.Я. Корреляционные свойства длин очередей в системах массового обслуживания с потоками общего вида // ИКТ. Т.13, №3, 2015. – С. 276-280.
6. Лихтциндер Б. Я. О некоторых обобщениях формулы Хинчина-Поллячека // ИКТ. Т.5, №4, 2007. – С.253-258.
7. Lakatos L. A note on the Pollaczek-Khinchin formula // Annal. Univ. Sci. Budapest Sect. Comp. 2008. V. 29. P. 83-91.
8. Zheng F.U., Wang J. A new method for the Pollaczek-Khinchin formula // ICIC express letters. Part B, Applications: an international journal of research and surveys. 2015. V. 6. – P. 1619-1624.
9. Huang L., Lee T.T. Generalized pollaczek-khinchin formula for markov channels // Communications, IEEE Transactions on. 2013. V. 61. №. 8. – P. 3530-3540.
10. Huang L. Generalized Pollaczek-khinchin Formula for Queueing Systems with Markov Modulated Services Rates: diss. – The Chinese University of Hong Kong. 2013.

Получено 03.10.2016

Лихтциндер Борис Яковлевич, д.т.н., профессор Кафедры мультисервисных сетей и информационной безопасности Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики, Вице-президент Академии Телекоммуникаций и Информатики. Тел. 8-927-260-96-00. E-mail: lixt@psati.ru

CONDITIONAL AVERAGE VALUE OF QUEUES IN QUEUE SYSTEMS WITH PACKET FLOWS OF DEMANDS

Likhtsinder B.Y.

Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, Samara, Russian Federation

E-mail: lixt@psati.ru

This work considers queueing systems with packet flows of demands featured for modern multiservice telecommunication networks. It presents Pollaczek-Khintchine formula generalization for systems with common type flows. We considered mean queue size dependences under low duty ratio. This work introduces a new term of conditional average value of queue, which is mean value under processor no-downtime condition, and presents algorithm for approximation of queue size dependences in queueing systems with packet flows of demands. Time delay in queues was considered. We defined duty limits, which provide desired queue size and time delays.

Keywords: queueing systems, packet flows, queue size, multiservice networks, multiplexing, approximation, duty ratio

DOI: 10.18469/ikt.2016.14.4.05

Likhttsinder Boris Yakovlevich, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, Samara, 443010, Russian Federation, 23 L.Tolstoy str.; Professor of the Department of Multiservice Networks and Information Security, Doctor of Technical Science, Professor, Vice-president of scientific public Academy of Telecommunications and Informatics. Tel.: +79272609600. E-mail: lixt@psati.ru

References

1. Stepanov S.N. *Teorija teletrafika. Konceptii, modeli, prilozheniya* [Teletraffic theory. Concepts, models, applications]. Moscow, Goryachaya liniya-Telecom Publ., 2015. 808 p.
2. Kleinrock L. *Queueing computer systems*, 1976, vol. 2. 576 p. (Russ. ed. Klejnrok L. Vychislitel'nye sistemy s ocheredjami. Moscow, Mir Publ., 1979. 600 p.).
3. Likhttsinder B.Y. Interval'nyj metod analiza trafika mul'tiservisnyh setej [Interval method of traffic analysis in multiservice communication systems]. *Prilozhenie k zhurnalu «Infokommunikacionnye tehnologii»*, 2011, pp. 101-152.
4. Likhttsinder B.Y. *Interval'nyj metod analiza trafika mul'tiservisnyh setej dostupa* [Interval method of traffic analysis in multiservice access networks]. Samara, PGUTI Publ., 2015. 121 p.
5. Likhttsinder B.Y. Korreljacionnye svoystva dlin ocheredej v sistemah massovogo obsluzhivaniya s potokami obshhego vida [Correlation features of queue sizes in queueing systems with common type flows]. *Infokommunikacionnye tehnologii*, 2015, vol. 13, no. 3, pp. 276-280.
6. Likhttsinder B.Y. O nekotoryh obonsheniyah formuli Hinchina-Pollyacheke [About some generalizations of Pollaczek-Khinchin formula]. *Infokommunikacionnye tehnologii*, 2007, vol. 5, no. 4, pp. 253-258.
7. Lakatos L. *A note on the Pollaczek-Khinchin formula*. Annal. Univ. Sci. Budapest Sect. Comp. 2008, vol. 29, pp. 83-91.
8. Zheng F.U., Wang J. A new method for the Pollaczek-Khinchin formula. *ICIC express letters. Part B, Applications: an international journal of research and surveys*, 2015, vol. 6, pp. 1619-1624.
9. Huang L., Lee T.T. Generalized pollaczek-khinchin formula for markov channels. *Communications, IEEE Transactions on*, 2013, vol. 61, no. 8, pp. 3530-3540.
10. Huang L. *Generalized Pollaczek-khinchin Formula for Queueing Systems with Markov Modulated Services Rates*: diss. The Chinese University of Hong Kong, 2013.

Received 06.10.2016

УДК 004.7

ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРА ТСП-ОКНА НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ИНТЕРВАЛОВ МЕЖДУ ПАКЕТАМИ ТРАФИКА В ПРОГРАММНО-КОНФИГУРИРУЕМЫХ СЕТЯХ SDN

Малахов С.В., Тарасов В.Н., Бахарева Н.Ф., Карташевский И.В.

Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Самара, РФ

E-mail: mal@psuti.ru

Рассматривается влияние размера ТСП-окна на числовые характеристики интервалов между пакетами: начальные моменты интервалов с первого по третий, так как разработанная математическая модель использует три первых начальных момента. Исследования проводились на виртуальной экспериментальной установке, которая развернута с помощью платформы OpenNebula на физических серверах. Рассмотрены два случая: программно-конфигурируемая сеть с поддержкой открытого протокола OpenFlow и традиционная сеть без протокола OpenFlow. Программно-конфигурируемая сеть построена с контроллером POX и физическим OpenFlow коммутатором. В качестве инструментальных средств использованы программные продукты tcpdump для захвата трафика и Iperf для генерации трафика. Представлен скрипт, позволяющий автоматизировать процесс запуска генерации трафика. Полученные результаты импортированы в MS Excel и с использованием известных формул математической статистики определяются моментные характеристики временных интервалов.

Ключевые слова: ПКС, программно-конфигурируемые сети, OpenFlow, ТСП-окно, POX, моментные характеристики

Введение

Концепция ПКС (программно-конфигурируемая сеть) заключается в разделении плоскостей данных и управления. ПКС ориентирована на

взаимодействие с пользователем через открытый API. Управление данными передается контроллеру. Это позволяет упростить коммутаторы, сняв с них вычислительную нагрузку. Пересылка паке-