

## РАСЧЕТ ОПЕРАТОРОВ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ТРАФИКА ДЛЯ ПРЕДНАМЕРЕННОГО ПОВЫШЕНИЯ СТРУКТУРНОЙ СЛОЖНОСТИ ИНФОРМАЦИОННОГО ПОТОКА

К.В. Ушанев<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Военно-космическая академия имени А.Ф.Можайского, Санкт-Петербург, 197198, Российская Федерация

\*Адрес для переписки: stan\_007@mail.ru

### Информация о статье

УДК 623.624

Язык статьи – русский

**Ссылка для цитирования:** Ушанев К.В. Расчет операторов преобразования трафика для преднамеренного повышения структурной сложности информационного потока // Труды учебных заведений связи. 2017. Том 3. № 2. С. 93–101.

**Аннотация:** *Статья посвящена развитию теории информационной безопасности и информационного противоборства. Цель исследования состоит в определении операторов преобразования наиболее актуальных информационно-технических воздействий, основанных на преобразовании структуры трафика в направлении ее усложнения. В основу научно-методического аппарата для обоснования информационно-технического воздействия, использующего усложнение структуры трафика, положен метод функционального преобразования трафика, ранее обоснованный в работах Г.И. Линца и представителей его научной школы. Полученные новые информационно-технические воздействия в дальнейшем могут использоваться для тестирования устойчивости и безопасности телекоммуникационных систем, а также для разработки способов их защиты.*

**Ключевые слова:** *информационная безопасность, информационное противоборство, сетевые атаки, обнаружение вторжений, способы обнаружения сетевых атак, информационно-техническое воздействие, преобразование трафика, сложный трафик, трафик сложной структуры.*

## THE CALCULATION OF THE TRAFFIC TRANSFORMATION OPERATOR FOR DELIBERATE INCREASE OF THE STRUCTURAL COMPLEXITY OF INFORMATION STREAM

K. Ushanev<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Military space academy of A.F. Mozhaiskiy, St. Petersburg, 197198, Russian Federation

### Article info

Article in Russian

**For citation:** Ushanev K. The Calculation of the Traffic Transformation Operator for Deliberate Increase of the Structural Complexity of Information Stream // Proceedings of Educational Institutes of Communication. 2017. Vol. 3. Iss. 2. PP. 93–101.

**Abstract:** *The paper is devoted to theory of information security and theory of information warfare evolve. The aim of the paper is the calculation of the traffic transformation operator. Methods used: the scientific-methodological apparatus for the research of a new cyber-attacks is based on the method of functional transformation of traffic. These new cyber-attacks can be used to test resilience and security of telecommunication systems, and to develop protection methods.*

**Keywords:** *information security, information warfare, network attack, intrusion detection, methods of detection of network attacks, information technology impact, the traffic transformation, the complexity traffic, the traffic with structural complexity.*

### Актуальность

В настоящее время актуальным направлением исследований является разработка моделей и методов оценки функционирования систем связи в условиях воздействия на них различного рода деструктивных факторов [1]. Причем к деструктивным факторам можно отнести ИТВ, ориентированные на усложнение структуры трафика, от которой напрямую зависит [2, 3] своевременность обслуживания трафика в узлах маршрутизации и коммутации пакетов. В работах [2, 3] указывается на снижение своевременности обслуживания трафика со сложной структурой в узлах маршрутизации и коммутации пакетов в сотни раз по сравнению с обслуживанием простейшего трафика.

При этом под трафиком со сложной структурой понимается информационный поток, у которого коэффициент вариации интервалов времени между поступлениями отдельных пакетов больше единицы ( $c_\tau > 1$ ), который определяется по формуле:

$$c_\tau = \sigma(\tau)/m(\tau),$$

где  $c_\tau$  – коэффициент вариации значений интервалов времени между поступлениями отдельных пакетов трафика (его дисперсионная характеристика, определяющая структурную сложность трафика);

$m(\tau)$  – математическое ожидание значений интервалов времени  $\tau$  между поступлениями отдельных пакетов трафика;

$\sigma(\tau)$  – среднее квадратическое отклонение значений интервалов времени  $\tau$  между поступлениями отдельных пакетов трафика.

Под своевременностью обслуживания трафика в узле сети будем понимать время от момента прихода начала пакета в узел, до момента покидания пакетом узла. Это время определяется задержкой при ожидании пакета в буфере узла и временем его обработки в коммутационном устройстве. При этом время обработки в коммутационном устройстве определяется объемом пакета и, как правило, для этого времени принимается допущение об экспоненциальном законе его распределения.

Эти выводы вполне согласуются с исследованиями других авторов, в которых регистрируются факты снижения своевременности обработки сложного трафика. К примерам таких исследований можно привести работы известных

специалистов: Ю.И. Рыжикова [4, 5], П.А. Будко [6], Л.А. Фомина [7, 15, 16], В.Н. Тарасова, Н.Ф. Бахарева [8, 9], О.И. Шелухина [10], А.Н. Назарова, К.И. Сычева [11], Е.А. Новикова [18–21]. В работе [22] предложен вариант ИТВ, основанный на формировании структуры информационных потоков трафика с высоким уровнем сложности, за счет внедрения дополнительных имитационных потоков.

Таким образом, такое ИТВ может быть использовано для преднамеренного создания условий, направленных на повышение времени обработки информационных потоков в узлах маршрутизации, и как следствие, снижения своевременности обслуживания потоков трафика ниже значений, определяемых требованиями к системе связи. Схема системы, осуществляющей такое ИТВ, представлена на рис. 1.

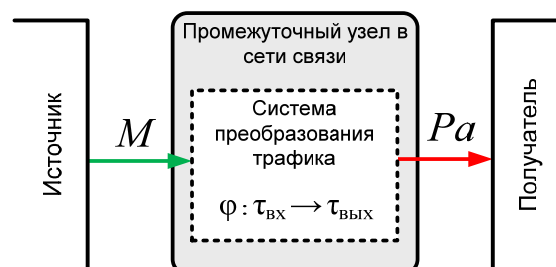


Рисунок 1. Схема системы, осуществляющей ИТВ на основе преобразования структуры трафика

### Постановка задачи

Цель работы – получить ряд операторов преобразования трафика для проведения исследований в целях обоснования параметров ИТВ, основанного на перехвате трафика и преобразовании его структуры в направлении ее усложнения. Задача работы – обосновать оператор преобразования трафика.

Для формализации задачи в работе введены следующие обозначения:

$\tau$  – интервал времени между поступлением смежных очередных пакетов трафика;

$\tau_{\text{вх}}$  – интервал времени между поступлением пакетов входного потока трафика, который будет подвергнут преобразованию;

$\tau_{\text{вых}}$  – интервал времени между поступлением пакетов выходного потока трафика, который уже преобразован;

$\Delta\tau = \tau_{\text{вых}} - \tau_{\text{вх}}$  – задержка пакета при выполнении преобразования;

$\Delta\tau_{\text{min}}$  – минимальное значение задержки пакета трафика при выполнении преобразования;

$\Delta\tau_{\text{max}}$  – максимальное значение задержки пакета трафика при выполнении преобразования;

$f(\Delta\tau)$  – плотность распределения задержки пакетов трафика при выполнении преобразования;

$\lambda$  – параметр экспоненциального распределения;

$\alpha$  – параметр формы распределения Парето;

$k$  – коэффициент масштаба распределения Парето;

$\Phi(*)$  – функция Лапласа;

$a$  – коэффициент сдвига равномерного распределения;

$(b - a)$  – коэффициент масштаба равномерного распределения;

$m$  – математическое ожидание;

$\sigma$  – среднее квадратическое отклонение.

Как показано в обзоре [12] для представления сложного трафика можно использовать различные модели: ON-OFF модели; потоки с распределениями Парето, Вейбулла, Гамма, потоки Кокса, и другие.

В рамках решаемой задачи предлагается использовать поток, в котором время между приходом заявок имеет Парето-распределение. Выбор Парето-распределения в качестве модели сложного трафика обусловлено следующими соображениями.

Во-первых, как показано в работе [2], сложный трафик с коэффициентом вариации  $c_\tau > 1$  может быть представлен моделью потока с Парето-распределением:

$$F(\tau) = 1 - \left(\frac{k}{\tau}\right)^\alpha, \quad k > 0, \quad \alpha > 0, \tau > k,$$

где  $\tau$  – интервал времени между поступлением очередных заявок в потоке с распределением Парето;

$k$  – коэффициент масштаба;

$\alpha$  – параметр формы распределения Парето.

Зависимость между коэффициентом вариации  $c_\tau$  и параметром  $\alpha$  распределения Парето в диапазоне  $\alpha \in [1,2; 2]$  с погрешностью до 3,27 % может быть аппроксимирована выражением [3]:

$$c_\tau(\alpha) = 1,41 \times 10^4 \times e^{-5,384 \cdot \alpha} + 1,52;$$

откуда:

$$\alpha = \frac{-1}{5,384} \ln \left( \frac{c_\tau - 1,52}{1,41 \times 10^4} \right).$$

Во-вторых, корректность и адекватность моделирования сложного трафика потоком с Парето-распределением моментов поступления заявок подтверждается аналогичным подходом, используемым различными исследователями в работах [6, 13, 14].

В качестве модели входного трафика, который подвергается преобразованию, в работе используются:

– простейший поток (который давно и традиционно используется для моделирования информационных потоков в сетях в теории телетрафика) с функцией вероятности экспоненциального распределения:

$$F(\tau_{\text{вх}}^{\text{exp}}) = 1 - e^{-\lambda \tau_{\text{вх}}^{\text{exp}}}; \quad (1)$$

– поток с равномерным распределением, представленный функцией вероятности:

$$F(\tau_{\text{вх}}^{\text{равн}}) = \frac{\tau_{\text{вх}}^{\text{равн}} - a}{b - a}; \quad (2)$$

– поток с нормальным распределением, представленный функцией вероятности:

$$F(\tau_{\text{ВХ}}^{\text{норм}}) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_0^{\tau_{\text{ВХ}}^{\text{норм}}} e^{-\frac{(\tau_{\text{ВХ}}^{\text{норм}} - m)^2}{2\sigma^2}} d\tau_{\text{ВХ}}^{\text{норм}}. \quad (3)$$

### Обоснование оператора преобразования трафика

Для обоснования оператора преобразования трафика был использован метод функционального преобразования трафика, впервые предложенный в работе Г.И. Линца, Л.А. Фомина, С.А. Скоробогатовой [15]. В ней метод функционального преобразования трафика предлагался в качестве направления снижения структурной сложности входного трафика. Дальнейшее развитие метод функционального преобразования получил в работах Г.И. Линца и его коллег [14, 16, 17] где на основе этого метода решается задача обеспечения инвариантности мультисервисной сети к структуре входного трафика.

Вместе с тем, анализ исследований Г.И. Линца и его коллег [14–17] показал, что полученные в них результаты носят общетеоретический характер, а разработанный научно-методический аппарат (НМА) функционального преобразования трафика трудно применим на практике. В частности, этим НМА не учитываются требования по качеству обслуживания (QoS – Quality of Service) трафика (задержка преобразования, требуемый объем буфера преобразователя, вероятность отказа в обслуживании), а также сохранение вероятностно-временных параметров преобразования (равенство математических ожиданий входного и выходного потоков трафика, только положительный сдвиг во времени поступивших пакетов, невозможность преобразования всех пакетов и т. д.).

В предыдущей работе автора [23] решена задача разработки НМА преобразования трафика с учетом требований по QoS и вышеуказанных дополнительных параметров, но применительно к задаче снижения структурной сложности трафика. Вместе с тем, в этой работе, так же, как и в работах Г.И. Линца, не рассматривается задача преобразования структуры трафика в направлении его усложнения.

Таким образом, для обоснования оператора преобразования трафика в направлении усложнения его структуры будет использован метод функционального преобразования трафика, рассмотренный в работах Г.И. Линца и его коллег [14–17]. Дальнейшее совершенствование процесса преобразования трафика на основе обоснованного оператора будет вестись с учетом требований по QoS и параметров преобразования, в соответствии с наработками, представленными в работе [23].

В соответствии с поставленной задачей входной поток трафика моделируется потоками, имеющими экспоненциальное, равномерное и нормальное распределение значений интервалов времени между поступлениями очередных заявок. Функции вероятности данных распределений представлены выражениями (1)–(3) соответственно.

Выходной поток трафика моделируется потоком сложной структуры и имеет Парето-распределение времени распределения между поступлениями очередных заявок:

$$G(\tau_{\text{ВЫХ}}) = 1 - \left(\frac{k}{\tau_{\text{ВЫХ}}}\right)^\alpha, \quad k > 0, \quad \alpha > 0, \tau_{\text{ВЫХ}} > k. \quad (4)$$

Сформируем оператор  $\varphi$ , который задает отображение:

$$\varphi : F(\tau_{\text{ВХ}}) \rightarrow G(\tau_{\text{ВЫХ}}). \quad (5)$$

С учетом свойства инвариантности дифференциалов вероятности можно записать:

$$f(\tau_{\text{ВХ}})d\tau_{\text{ВХ}} = g(\tau_{\text{ВЫХ}})d\tau_{\text{ВЫХ}}, \quad (6)$$

откуда в общем виде можно получить оператор преобразования:

$$g(\tau_{\text{ВЫХ}}) = f(\tau_{\text{ВХ}}) \left| \frac{d\tau_{\text{ВХ}}}{d\tau_{\text{ВЫХ}}} \right|. \quad (7)$$

Проинтегрировав выражение (6) получим:

$$\int_0^\tau f(\tau_{\text{ВЫХ}})d\tau_{\text{ВХ}} = \int_0^\tau g(\tau_{\text{ВЫХ}})d\tau_{\text{ВЫХ}}. \quad (8)$$

Последнее выражение определяет равенство функций вероятности входного и выходного процессов:

$$F\tau_{\text{ВХ}} = G(\tau_{\text{ВЫХ}}). \quad (9)$$

Преобразуем выражение (9) с учетом того, что функция вероятности Парето-распределения  $G(\tau_{\text{ВЫХ}})$  определяется выражением (4):

$$F(\tau_{\text{ВХ}}) = 1 - \left(\frac{k}{\tau_{\text{ВЫХ}}}\right)^\alpha, \quad (10)$$

откуда получим оператор преобразования произвольного распределения  $F(\tau_{\text{ВХ}})$  в поток с Парето-распределением:

$$\tau_{\text{ВЫХ}} = \left(\frac{k^\alpha}{1 - F(\tau_{\text{ВХ}})}\right)^{\frac{1}{\alpha}}. \quad (11)$$

### Расчет операторов преобразования трафика

В соответствии с поставленной в данной работе задачей, потоками, имеющими экспоненциальное, равномерное и нормальное распределение и используемыми в качестве модели входного трафика, полученным для расчета операторов преобразования трафика выражением (11), определим оператор  $\varphi$  преобразования в поток с распределением Парето.

1) Оператор  $\varphi$ -преобразования потока с экспоненциальным распределением в поток с распределением Парето получим подстановкой в выражение (11) вместо  $F(\tau_{\text{вх}})$  функции  $F(\tau_{\text{вх}}^{\text{exp}})$ , определяемой выражением (1) и получим:

$$\tau_{\text{вых}} = \varphi(\tau_{\text{вх}}^{\text{exp}}) = \left( \frac{k^\alpha}{1 - (1 - e^{-\lambda \tau_{\text{вх}}^{\text{exp}}})} \right)^{\frac{1}{\alpha}} = k e^{\frac{\lambda \tau_{\text{вх}}^{\text{exp}}}{\alpha}}. \quad (12)$$

2) Оператор  $\varphi$  преобразования потока с равномерным распределением в поток с распределением Парето получим таким же образом подстановкой в выражение (11) вместо  $F(\tau_{\text{вх}})$  функции  $F(\tau_{\text{вх}}^{\text{равн}})$ , определяемой выражением (2):

$$\tau_{\text{вых}} = \varphi(\tau_{\text{вх}}^{\text{равн}}) = \left( \frac{k^\alpha}{1 - \left( \frac{\tau_{\text{вх}}^{\text{равн}} - a}{b - a} \right)} \right)^{\frac{1}{\alpha}} = k \left( \frac{b - a}{b - \tau_{\text{вх}}^{\text{равн}}} \right)^{\frac{1}{\alpha}}. \quad (13)$$

3) Оператор  $\varphi$  преобразования потока с нормальным распределением в поток с распределением Парето получим подстановкой в выражение (11) вместо  $F(\tau_{\text{вх}})$  функции  $F(\tau_{\text{вх}}^{\text{норм}})$  с учетом того, что функция определяется выражением (3):

$$\tau_{\text{вых}} = \varphi(\tau_{\text{вх}}^{\text{норм}}) = \left( \frac{k^\alpha}{1 - \Phi(*)} \right)^{\frac{1}{\alpha}}, \quad (14)$$

где  $\Phi(*)$  – функция Лапласа (функция распределения, позволяющая определить вероятность попадания случайной величины, распределенной по нормальному закону, при значениях  $m = 0$ ,  $\sigma = 1$ ):

$$\Phi(\tau_{\text{вх}}^{\text{норм}}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{\tau_{\text{вх}}^{\text{норм}}} e^{-\frac{(\tau_{\text{вх}}^{\text{норм}})^2}{2}} d\tau_{\text{вх}}^{\text{норм}}.$$

При определении вероятности попадания значений интервала времени  $\tau_{\text{вх}}^{\text{норм}}$  в заданный интервал  $[a, b]$ , путем замены  $\frac{\tau_{\text{вх}}^{\text{норм}} - m}{\sigma} = t_{\text{вх}}^{\text{норм}}$ ,  $\frac{a - m}{\sigma} = A$ ,  $\frac{b - m}{\sigma} = B$  в выражении (1) функция Лапласа примет вид:

$$\Phi(\tau_{\text{ВХ}}^{\text{НОРМ}}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_A^B e^{-\frac{(t_{\text{ВХ}}^{\text{НОРМ}})^2}{2}} dt_{\text{ВХ}}^{\text{НОРМ}}.$$

При этом значения функции Лапласа посчитаны и приводятся в специальных таблицах.

В проведенном ранее исследовании автора и его коллег [24] показано, что полученные операторы преобразования трафика (12)–(14) в трафик со сложной структурой в дальнейшем необходимо более подробно исследовать. Так, например, в исследовании [24] было выявлено, что при прямом использовании оператора преобразования возникают отрицательные значения времени задержки пакетов в системе ИТВ, что противоречит физическому смыслу процесса.

### Вывод

Дальнейшее исследование полученных операторов преобразования входного трафика (12)–(14) на предмет выявления в нем типовых процессов и определения рекомендаций по рациональному практическому применению данных операторов представляет интерес дальнейших научных изысканий автора для разработки ИТВ, основанных на преобразовании структуры трафика в направлении ее усложнения.

### Список используемых источников

1. Макаренко С.И., Михайлов Р.Л. Оценка устойчивости сети связи в условиях воздействия на неё дестабилизирующих факторов // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. 2013. № 4. С. 69–79.
2. Ушанев К.В. Имитационные модели системы массового обслуживания типа  $Pa/M/1$ ,  $H_2/M/1$  и исследование на их основе качества обслуживания трафика со сложной структурой // Системы управления, связи и безопасности. 2015. № 4. С. 217–251.
3. Макаренко С.И., Ушанев К.В. Показатели своевременности обслуживания трафика в системе массового обслуживания  $Pa/M/1$  на основе аппроксимации результатов имитационного моделирования // Системы управления, связи и безопасности. 2016. № 1. С. 42–65. URL: <http://sccs.intelgr.com/archive/2016-01/03-Ushanev.pdf>.
4. Рыжиков Ю.И. Расчет систем обслуживания с групповым поступлением заявок // Информационно-управляющие системы. 2007. № 2. С. 39–49.
5. Рыжиков Ю.И. Полный расчет системы обслуживания с распределениями Кокса // Информационно-управляющие системы. 2006. № 2. С. 38–46.
6. Будко П.А., Рисман О.В. Многоуровневый синтез информационно-телекоммуникационных систем. Математические модели и методы оптимизации. СПб.: ВАС, 2011. 476 с.
7. Малофей О.П., Родионов В.В., Ряднов Д.С., Фомин Л.А. Моделирование самоподобного трафика при построении сетей NGN // Известия Южного федерального университета. Технические науки. 2009. № 11. С. 176–186.
8. Бахарева Н.Ф., Карташевский И.В., Тарасов В.Н. Анализ и расчет непуассоновских моделей трафика в сетях ЭВМ // Инфокоммуникационные технологии. 2009. Т. 7. № 4. С. 61–66.



9. Бахарева Н.Ф., Горелов Г.А., Тарасов В.Н. Математическая модель трафика с тяжелохвостным распределением на основе системы массового обслуживания  $M_2/M/1$  // Инфокоммуникационные технологии. 2014. Т. 12. № 3. С. 36–41.
10. Иванов Ю.А., Пастухов А.С., Шелухин О.И. Исследование влияния самоподобия ON-OFF источников на скорость интернет-трафика // Электротехнические и информационные комплексы и системы. 2008. Т. 4. № 1–2. С. 97–100.
11. Назаров А.Н., Сычев К.И. Модели и методы расчета показателей качества функционирования узлового оборудования и структурно-сетевых параметров сетей связи следующего поколения. Красноярск: Поликом, 2010. 389 с.
12. Макаренко С.И. Анализ математических моделей информационных потоков общего вида и степени их соответствия трафику сетей интегрального обслуживания // Вестник Воронежского государственного университета. 2012. Т. 8. № 8. С. 28–35.
13. Долгушин Д.Ю., Задорожный В.Н., Юдин Е.Б. Аналитико-имитационные методы решения актуальных задач системного анализа больших сетей / Под ред. В.Н. Задорожного. Омск: Издательство ОмГТУ, 2013. 324 с.
14. Линец Г.И. Методы структурно-параметрического синтеза, идентификации и управления транспортными телекоммуникационными сетями для достижения максимальной производительности: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Ставрополь: Северо-Кавказский федеральный университет. 2013. 34 с.
15. Линец Г.И., Скоробогатов С.А., Фомин Л.А. Снижение влияния самоподобности трафика в пакетных сетях // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. 2008. № 11. С. 38–42.
16. Криволапов Р.В., Линец Г.И., Скоробогатов С.А., Фомин Л.А. Способ снижения влияния самоподобности в сетевых структурах и устройство для его осуществления // Патент на изобретение № 2413284 от 27.02.2011.
17. Говорова С.В., Линец Г.И., Меденец В.В., Фомин Л.А. Построение мультисервисных сетей на основе функциональных преобразований трафика // Инфокоммуникационные технологии. 2014. Т. 12. № 4. С. 40–45.
18. Зиннуров С.Х., Новиков Е.А., Павлов А.Р. Метод оперативного планирования частотно-временного ресурса спутника-ретранслятора при нестационарном входном потоке сообщений // Авиакосмическое приборостроение. 2014. № 5. С. 14–23.
19. Новиков Е.А. Оперативное распределение радиоресурса спутника-ретранслятора при нестационарном входном потоке сообщений с учетом запаздывания в управлении // Информационно-управляющие системы. 2014. № 2 (69). С. 79–86.
20. Новиков Е.А. Оценка пропускной способности спутника-ретранслятора при резервировании радиоресурса с упреждением // Труды Научно-исследовательского института радио. 2014. № 3 (15). С. 62–69.
21. Жуков С.Е., Новиков Е.А., Павлов А.Р. Метод динамического распределения радиоресурса ретранслятора в сетях спутниковой связи с учетом неоднородности трафика и запаздывания при управлении // Труды научно-исследовательского института радио. 2014. № 1. С. 74–80.
22. Макаренко С.И. Преднамеренное формирование информационного потока сложной структуры за счет внедрения в систему связи дополнительного имитационного трафика // Вопросы кибербезопасности. 2014. № 3 (4). С. 7–13.
23. Макаренко С.И., Ушанев К.В. Преобразование структуры трафика с учетом требований по качеству его обслуживания // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. 2015. № 2. С. 74–84.
24. Макаренко С.И., Коровин В.М., Ушанев К.В. Оператор преобразования трафика для преднамеренного повышения структурной сложности информационных потоков // Системы управления, связи и безопасности. 2016. № 4. С. 77–109. URL: <http://sccs.intelgr.com/archive/2016-04/04-Makarenko.pdf>.