

4. Королев, А. В. *Адаптивная маршрутизация в корпоративных сетях* / А. В. Королев, Г. А. Кучук, А. А. Пашнев.— Харьков: ХВУ, 2003.— 224 с.

5. Барабаш, О. В. *Алгоритм самодиагностики технического stanu вузлів комутації інформаційних систем* / О. В. Барабаш, Д. М. Обідін, А. П. Мусієнко // *Сучасний захист інформації*.— 2014.— № 2.— С. 114–121.

6. Артюшин, Л. М. *Оптимизация цифровых автоматических систем, устойчивых к отказам* / Л. М. Артюшин, О. А. Машков.— К.: КВВАИУ, 1991.— 89 с.

7. Барабаш, О. В. *Функциональная стойкость — свойство сложных технических систем: сб. науч. праць НАОУ* / О. В. Барабаш, Ю. В. Кравченко.— К.: НАОУ, 2002.— Бюл. № 40— С. 225–229.

О. В. Барабаш, С. В. Бодров, А. П. Мусієнко

#### АНАЛИЗ ПОСТРОЕНИЯ СЕТИ ВИДЕОКОНТРОЛЯ ПУНКТОВ ТАМОЖЕННОГО НАБЛЮДЕНИЯ НА ОСНОВЕ ФУНКЦИОНАЛЬНО УСТОЙЧИВОЙ СИСТЕМЫ

Показаны преимущества применения количественных методов оценки функциональной устойчивости по таким показателям, как граница и запас функциональной устойчивости.

На основе полученных этими методами оценок можно давать рекомендации по построению сети видеоконтроля пунктов таможенного наблюдения. Кроме того, данные оценки помогут четче сформулировать требования к структуре системы видеоконтроля, которая будет проектироваться для бесперебойной передачи данных на рабочую станцию.

**Ключевые слова:** система обработки данных; функциональная устойчивость; видеоконтроль.

O. V. Barabash, S. V. Bodrov, A. P. Musienko

#### ANALYSIS OF BUILDING A NETWORK VIDEO SURVEILLANCE POINT OF CUSTOMS SUPERVISION ON THE BASIS OF FUNCTIONAL STABILITY SYSTEM

The advantages of the application of quantitative methods for assessing functional stability on such parameters as border and margin functional stability are viewed.

On the basis of estimates obtained by these methods we can provide advice on building a network of video surveillance of the customs points. In addition, these estimates will help to better formulate requirements for the video surveillance system, which will be designed for trouble-free data transmission to the workstation.

**Keywords:** data processing system; functional stability; video surveillance.

УДК 621.391; 519.863 (045)

Є. В. ОРЛОВ, аспірант; І. Е. ПОХАБОВА, аспірантка,  
Державний університет телекомунікацій, Київ

## УПРОВАДЖЕННЯ АДАПТИВНОГО УПРАВЛІННЯ ПРОГРАМНО-КОНФІГУРОВАНОЮ МЕРЕЖЕЮ SDN

**Розглянуто спосіб підвищення швидкодії та пропускної здатності мережних компонентів програмно-конфігурованих мереж, що спирається на принцип організації адаптивного управління відповідними мережними потоками. Зазначений принцип передбачає зміну таблиць мережних потоків OpenFlow-комутаторів та OpenFlow-маршрутизаторів, коли мережний пакет спрямовується до контролера даної мережі, схема якого додатково включає в себе функціональний блок зі встановлення пріоритету мережного потоку. Цей блок забезпечує також сукупність параметрів якості мережного трафіку за байтом типу обслуговування ToS.**

**Ключові слова:** програмно-конфігурована мережа; система управління; оптимізація; OpenFlow.

### Вступ

Завдяки інтенсивному впровадженню новітніх технологій, що дозволяють операторам телекомунікаційних мереж стрімко розширювати спектр надаваних користувачам послуг, відбувається водночас істотне вдосконалення самих мереж. Адже потреби в підвищенні пропускної здатності та швидкодії телекомунікаційних мереж постійно зростають. Для їх задоволення використовується дедалі більша кількість протоколів і механізмів контролю та управління ресурсами телекомунікаційних мереж [1; 3], що, у свою чергу, змушує

вдаватись до оновлення класичної моделі побудови телекомунікаційних мереж.

Один із важливих напрямків «модернізації» класичних принципів організації мережної архітектури полягає у створенні програмно-конфігурованих мереж (ПКМ) — *Software-Defined Networks* — *SDN*), що використовують протокол OpenFlow [2]. Сьогодні ця мережна технологія розглядається як найбільш прийнятна і тому активно розвивається. Важлива перевага ПКМ порівняно з традиційними комп'ютерними мережами — це механізм ухвалення рішення про зміну марш-

рутів передавання мережних пакетів, який покладено на конкретні пристрої. Ідеться, зокрема, про OpenFlow-комутатор та OpenFlow-маршрутизатор.

### Спосіб управління мережними потоками в ПКМ

Для управління передаванням мережних пакетів у комутаторах та маршрутизаторах застосовуються таблиці мережних потоків. Кожний запис у такій таблиці визначає маршрут для сукупності однотипних мережних пакетів, які утворюють мережний потік між суміжними мережними пристроями. У традиційних комп'ютерних мережах записи, які утворюють таблицю мережних потоків кожного включеного в мережу комутатора та маршрутизатора, задає системний адміністратор вручну, віддаючи команди управління з терміналу за допомогою протоколів управління FTP, TFTP, SNMP, Telnet, HTTP, HTTPS, SSH. Вочевидь, через ускладнення топології комп'ютерних мереж, стрімке зростання кількості задіяних комутаторів і маршрутизаторів, а також постійно змінюваних мережних характеристик, які доводиться контролювати при визначенні таблиць мережних потоків, зазначений підхід втрачає сенс, оскільки він не дозволяє чітко відстежувати:

- постійні підімкнення та відімкнення комутаторів і маршрутизаторів;
- зміни в мережній інфраструктурі;
- зміни обсягів даних, які передаються по мережі.

Натомість у ПКМ OpenFlow-комутатори та OpenFlow-маршрутизатори функціонують під управлінням не людини, а контролера ПКМ, який за протоколом OpenFlow дозволяє контролювати поточні стани вузлів мережі та автоматично керувати ними, посилаючи необхідні команди щодо зміни таблиць мережних потоків і, отже, зміни маршруту проходження пакетів [4].

В OpenFlow-комутаторах і OpenFlow-маршрутизаторах визначення маршруту для отриманого мережного пакета здійснюється порівнянням параметрів цього мережного пакета з параметрами, зазначеними в кожному запису таблиці мережних потоків, що зберігається на мережному пристрої (див. рисунок). У разі виявлення збігу мережний пакет прямує за маршрутом, визначеним у знайденому запису. Якщо жодного запису для даного пакета в таблиці мережних потоків не знайдено, то пакет передається на обробку контролеру ПКМ, який формує новий запис для цього пакета і для всіх однотипних із ним наступних мережних пакетів. У такий спосіб визначається та вноситься до таблиці мережних потоків відповідного OpenFlow-комутатора та OpenFlow-маршрутизатора новий маршрут для даного мережного потоку.

У відомих вирішеннях, що забезпечують управління OpenFlow-комутаторами та OpenFlow-маршрутизаторами, усі записи в таблицях мережних потоків рівноцінні, тобто порядок їх обробки в таблиці не визначений. Через це в пошуках потрібного запису доводиться здійснювати перебір

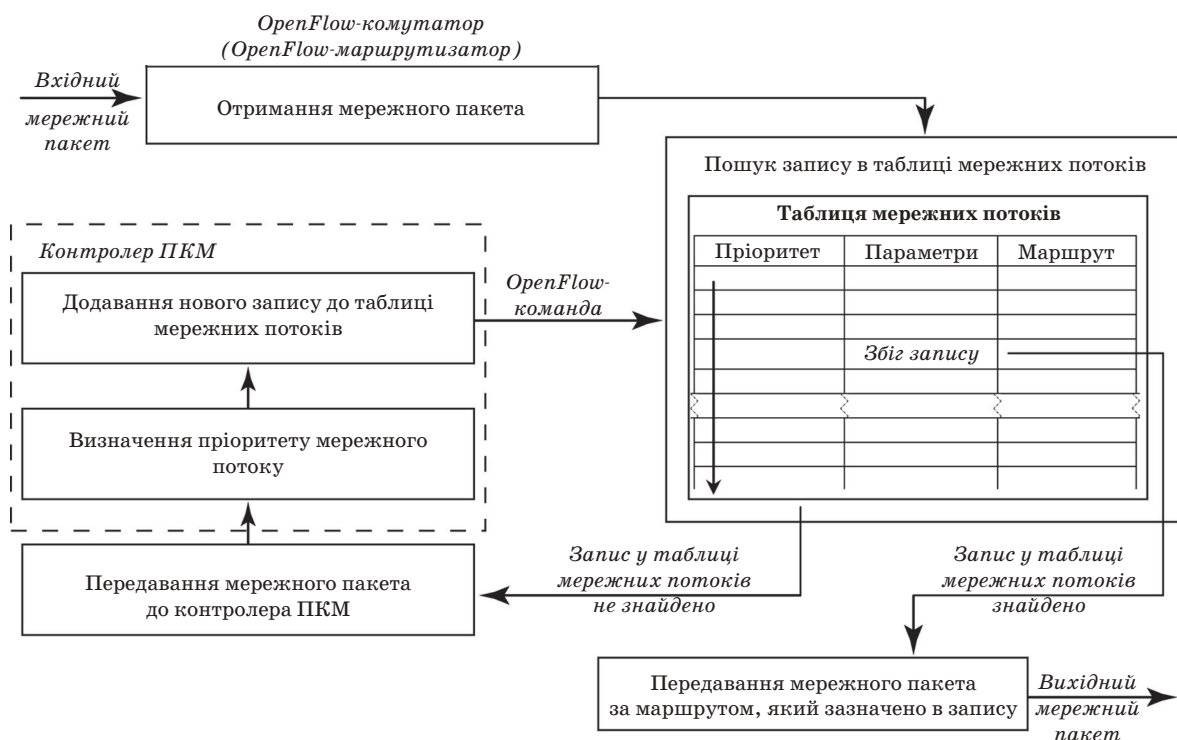


Схема адаптивного управління мережними потоками в ПКМ

усіх записів таблиці мережних потоків, а це, у свою чергу, призводить до тимчасових затримок при передаванні мережних пакетів. Отже, постає потреба якомога швидше виявляти потрібний запис, що визначатиме маршрут для мережних пакетів, які надходять до OpenFlow-комутатора та OpenFlow-маршрутизатора, прискорюючи тим самим процес відшукування необхідного маршруту і, відповідно, підвищуючи продуктивність OpenFlow-комутатора та OpenFlow-маршрутизатора.

Це дозволяє при визначенні маршруту для мережного пакета, що надійшов, порівнювати параметри цього пакета з параметрами, зазначеними в кожному запису таблиці мережних потоків, додержуючи строгого порядку зменшення значень пріоритету записів і скорочуючи завдяки цьому час пошуку необхідного запису в таблиці мережних потоків. Зрештою швидкість обробки мережних пакетів в OpenFlow-комутаторах та OpenFlow-маршрутизаторах істотно зростає. Застосування цього підходу забезпечує:

- підвищення швидкодії та пропускної здатності OpenFlow-комутаторів і OpenFlow-маршрутизаторів;
- підвищення надійності середовища обміну даними;
- підвищення доступності вузлів мережі;
- скорочення кількості помилок адміністрування за рахунок автоматизації управління, що полягає в динамічній зміні пріоритетів мережних потоків згідно зі змінами параметрів якості мережного трафіку.

Розв'язання поставленого технічного завдання забезпечується завдяки тому, що, як уже зазначалося, схема контролера ПКМ включає в себе функціональний блок із визначення пріоритету мережного потоку за байтом типу обслуговування ToS (*Type of Service*).

Використання байта ToS у системі управління ПКМ дає змогу визначати пріоритетність IP-трафіку на мережних маршрутизаторах [5]. Однооктетне поле ToS характеризує спосіб, в який має оброблятися дейтаграма. Це поле поділяється на шість субполів:

0	1	2	3	4	5	6	7			
Пріоритет						D	T	R	C	Не використовується

Субполе «Пріоритет» дає змогу присвоїти кожній дейтаграмі код пріоритету:

- 0 — звичайний рівень;
- 1 — пріоритетний;
- 2 — негайний;
- 3 — терміновий;
- 4 — екстрений;
- 5 — ceitic/escr;
- 6 — міжмережне управління;
- 7 — мережне управління.

У документі RFC-1349 визначено формат поля ToS.

Значення D, T, R і C характеризують побажання щодо способу доставляння дейтаграми. Так, D = 1 вимагає мінімальної затримки, T = 1 — високої пропускної здатності, R = 1 — високої надійності, а C = 1 — низької вартості. Таким чином, байт ToS може відігравати важливу роль у маршрутизації пакетів. Нині мережі, зокрема й Інтернет, не гарантують виконання визначеного ToS, але багато маршрутизаторів ураховують відповідні запити при виборі маршруту (протоколи OSPF та IGRP).

Отже, маємо таке:

- якщо байт ToS у мережному пакеті не заданий, то цьому пакету присвоюється найменший пріоритет запису в таблиці мережних потоків;
- якщо байт ToS у мережному пакеті заданий, то визначають пріоритет для мережного потоку, що формується даним мережним пакетом та всіма наступними однотипними з ним мережними пакетами, згідно з методом багатокритеріальної оптимізації за параметрами:

«пріоритет» — перші три біти байта ToS;

«затримка» — четвертий біт байта ToS;

«пропускна здатність» — п'ятий біт байта ToS;

«надійність» — шостий біт байта ToS.

Далі в контролері ПКМ формується OpenFlow-команда, за допомогою якої в таблицю мережних потоків OpenFlow-комутатора чи OpenFlow-маршрутизатора включається новий запис.

У процесі роботи ПКМ головне завдання — визначення маршрутної інформації для організації та підтримки передавання мережних пакетів OpenFlow-комутаторами та OpenFlow-маршрутизаторами. Виконання цього завдання полягає в розрахунку пріоритетів мережних потоків у процесі управління ними.

Якщо на вхід OpenFlow-комутатора чи OpenFlow-маршрутизатора надходить мережний пакет (див. рисунок), для якого немає відповідних записів у таблиці мережних потоків, цей мережний пристрій передає пакет контролеру ПКМ. Той приймає пакет, виділяючи необхідну для створення нового запису в таблиці мережних потоків інформацію — байт ToS у цьому мережному пакеті. Далі контролер ПКМ здійснює розрахунок пріоритету для мережного потоку, що задається оброблюваним мережним пакетом і всіма наступними однотипними з ним мережними пакетами, та створює новий запис у таблиці мережних потоків відповідного мережного пристрою.

Щоб підвищити продуктивність OpenFlow-комутаторів і OpenFlow-маршрутизаторів, а отже, і для забезпечення якомога ефективнішого передавання даних контролер ПКМ виділяє байт, що відповідає за характеристики якості передавання

мережних пакетів — згадуваний уже байт ToS, що міститься в мережному пакеті.

Пропонований підхід до формування таблиць мережних потоків для ПКМ полягає в побудові таких таблиць на основі пріоритетів мережних потоків, які визначаються за змістом байта ToS першого мережного пакета того мережного потоку, який щойно надійшов і для якого немає запису в таблиці мережних потоків відповідного мережного пристрою.

Контролер ПКМ виокремлює параметри якості передавання пакета: пріоритет пакета, необхідну затримку при його передаванні, необхідну смугу пропускання, а також необхідну надійність при передаванні цього пакета.

### Метод розрахунку пріоритету мережного потоку

Для розрахунку пріоритету мережного потоку доцільно використовувати метод багатокритеріальної оптимізації, що передбачає одночасну оптимізацію двох чи більшої кількості цільових функцій, які у заданій області визначення [7].

Завдання багатокритеріальної оптимізації в загальному вигляді формулюється так:

$$\min_{\vec{x}} \{f_1(\vec{x}), f_2(\vec{x}), \dots, f_k(\vec{x})\}, \quad \vec{x} \in S;$$

$$f_i : R^n \rightarrow R, \quad i = 1, \dots, k;$$

$$\vec{x} = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)^T,$$

де  $f_1, f_2, \dots, f_k$  — цільові функції;  $\vec{x}$  — вектор розв'язків;  $S$  — непорожня область визначення функцій;  $R$  — множина дійсних чисел;  $n$  — розмірність простору області визначення цільової функції.

Зрештою багатокритеріальна оптимізація означає пошук вектора цільових змінних, який задовольняє накладені обмеження та оптимізує векторну функцію, компоненти якої відповідають цільовим функціям [8]. Зазначені функції являють собою математичний опис критерію задовільності і, як правило, взаємно конфліктують.

Як критерій ефективності використовують, наприклад, критерій Парето. Вектор розв'язку  $\vec{x}$  називають *оптимальним за Парето* [9], якщо не існує  $\vec{x}$ , такого що  $f_i(\vec{x}) \leq f_i(\vec{x}_1)$  для всіх  $i = 1, \dots, k$ , і при цьому  $f_i(\vec{x}) < f_i(\vec{x}_1)$  принаймні для одного  $i$ . Множину оптимальних за Парето розв'язків позначимо як  $P(S)$ . **Цільовий вектор є оптимальний за Парето, якщо відповідний йому вектор з області визначення також оптимальний за Парето.** Множину оптимальних за Парето цільових векторів позначимо як  $P(Z)$ .

Множина оптимальних за Парето векторів становить підмножину векторів, оптимальних за Парето у слабкому сенсі.

**Вектор  $\vec{x} \in S$  є слабкий оптимум за Парето, якщо не існує вектора  $\vec{x} \in S$ , такого що  $f_i(\vec{x}) < f_i(\vec{x}_1)$  для всіх  $i = 1, \dots, k$ .**

Діапазон значень оптимальних за Парето розв'язків в області допустимих значень дає інформацію, корисну для досліджуваного завдання, якщо цільові функції обмежені областю визначення. Нижні межі оптимальної за Парето множини подаються в «ідеальному цільовому векторі»  $\vec{z} \in R^k$ , компоненти  $z_i$  якого дістаємо, мінімізуючи кожну цільову функцію в межах області визначення [10].

Для відшукування оптимальних за Парето розв'язків застосовують *метод скаляризації* за допомогою зваженого підсумовування згідно з формулою

$$F_1(\vec{f}(\vec{x})) = w_1 f_1(\vec{x}) + \dots + w_r f_r(\vec{x}). \quad (1)$$

При цьому як компоненти вектора  $\vec{x}$  використовують значущі біти ToS:

- $x_1$  — значення пріоритету (перші три біти ToS);
- $x_2$  — вимоги щодо затримки;
- $x_3$  — вимоги щодо пропускну здатності;
- $x_4$  — вимоги щодо надійності.

Роль цільових функцій відіграють:

$$f_1(\vec{x}) = \begin{cases} x_1, & 0 \leq x_1 \leq 2, \\ 2x_1, & 3 \leq x_1 \leq 5, \\ 3x_1, & 6 \leq x_1 \leq 7; \end{cases}$$

$$f_2(\vec{x}) = x_1 x_2; f_3(\vec{x}) = x_1 x_3; f_4(\vec{x}) = x_1 x_4.$$

Узявши за основу формулу (1), дістанемо вираз для скаляризації, який при формуванні таблиць мережних потоків включає в себе чотири складові:

$$F_1(\vec{f}(\vec{x})) = w_1 f_1(\vec{x}) + w_2 f_2(\vec{x}) + w_3 f_3(\vec{x}) + w_4 f_4(\vec{x}).$$

Цей метод універсальний завдяки тому, що для кожної системи мережної взаємодії можна визначити свої значення вагових коефіцієнтів  $w_i$ .

Отже, щоб задати пріоритет запису в таблиці потоків OpenFlow-комутатора або OpenFlow-маршрутизатора, використовують значення функції  $F_1(\vec{f}(\vec{x}))$ . Установлюючи пріоритет (черговість) записів і, відповідно, мережних потоків, істотно скорочуємо час, необхідний для виявлення запису в таблиці мережних потоків.

### Висновки

Подано рекомендації щодо оптимізації та поліпшення якості управління мережами майбутнього. На підставі аналізу сучасних тенденцій розвитку мережної інфраструктури запропоновано систему адаптивного мережного управління, здатну підвищити ефективність роботи мережі та використання її ресурсів. Адже адаптивне управління мережними потоками і, у свою чергу, ме-



режими компонентами в ПКМ, має на меті підвищити продуктивність OpenFlow-комутаторів і OpenFlow-маршрутизаторів, забезпечивши динамічну зміну пріоритетів мережних потоків відповідно до змін параметрів якості мережного трафіку, що задаються в мережних пакетах.

У процесі адаптивного управління мережними потоками в ПКМ, що передбачає, зокрема, формування таблиць потоків OpenFlow-комутаторів і OpenFlow-маршрутизаторів, мережний пакет спрямовується до контролера ПКМ, додатковий функціональний блок якого забезпечує визначення пріоритету мережного потоку згідно із сукупністю параметрів якості мережного трафіку за байтом ToS.

### Література

1. Мурай, А. В. Оценка качества телекоммуникационных услуг с учетом степени удовлетворения ожиданий и требований пользователей / А. В. Мурай // *Наук. записки УНДІЗ.*— 2013.— № 2 (26).— С. 68–75.
2. Олизарович, Е. В. Метод автоматизации построения программно-конфигурируемых сетей / Е. В. Олизарович, А. И. Бражук // *Вестник Гродзенского государственного университета им. Я. Купалы.*— 2013.— № 3(159).— С. 128–134.
3. Дьоміна, Л. О. Оцінка ефективності інфокомунікаційних мереж нового покоління / Л. О. Дьоміна // *Наук. записки УНДІЗ.*— 2013.— № 4 (28).— С. 89.
4. Орлов, Є. В. Програмно-конфігуровані мережі (SDN): архітектура, міжнародна стандартизація / Є. В. Орлов // *Наук. записки УНДІЗ.*— 2014.— № 4 (32).— С. 85–91.
5. Almquist, P. Type of Service in the Internet Protocol Suite [Електронний ресурс] / P. Almquist

— Режим доступу:

<https://tools.ietf.org/html/rfc1349> (14.02.2015 р.).

6. Семёнов, Ю. А. Телекоммуникационные технологии [Електронний ресурс] / Ю. А. Семёнов.— Режим доступу:

[http://citforum.ck.ua/nets/semenov/4/44/ip\\_441.shtml](http://citforum.ck.ua/nets/semenov/4/44/ip_441.shtml) (08.02.2015 р.).

7. Толубко, В. Б. Багатокритеріальна оптимізація параметрів програмно-конфігурованих мереж (SDN) / [В. Б. Толубко, Л. Н. Беркман, Л. О. Комарова, Є. В. Орлов] // *Телекомунікаційні та інформаційні технології.*— 2014.— № 4.— С. 5–11.

8. Стеклов, В. К. Метод решения задачи многокритериальной оптимизации систем управления разнородными телекоммуникационными сетями / В. К. Стеклов, Б. Я. Костик // *Зв'язок.*— 2003.— № 1.— С. 42.

9. Ногин, В. Д. Принятие решений в многокритериальной среде: количественный подход / В. Д. Ногин.— М.: Физматлит, 2004.— 236 с.

10. Климова, О. Н. Учет взаимнонезависимой информации об относительной важности критериев в процессе принятия решений / О. Н. Климова, В. Д. Ногин // *Вычисл. математика и матем. физика.*— 2006.— Т. 46, № 12.— С. 2179–2191.

11. Стеклов, В. К. Оптимизация систем управления современными телекоммуникационными сетями / В. К. Стеклов, Л. Н. Беркман, О. Г. Варфоломеева // *Радиотехника.*— 2002.— Вып. 125.— С. 196–202.

12. Беркман, Л. Н. Инвариантность систем управления конвергентных сетей в режиме надзвичайних ситуацій / Л. Н. Беркман, Л. О. Комарова, І. А. Войко // *Наук. записки УНДІЗ.*— 2014.— № 1 (29).— С. 11–15.

Е. В. Орлов, І. Э. Похабова

### ВНЕДРЕНИЕ АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОГРАММНО-КОНФИГУРИРУЕМОЙ СЕТЬЮ SDN

Рассмотрен способ повышения быстродействия и пропускной способности сетевых компонентов программно-конфигурируемых сетей, основанный на принципе организации адаптивного управления сетевыми потоками в указанных сетях. Этот принцип предполагает изменение таблиц сетевых потоков OpenFlow-коммутаторов и OpenFlow-маршрутизаторов, когда сетевой пакет направляется к контроллеру данной сети, схема которого дополнительно включает в себя функциональный блок установления приоритета сетевого потока, обеспечивающий также определение совокупности параметров качества сетевого трафика по байту типа обслуживания ToS.

**Ключевые слова:** программно-конфигурируемая сеть; система управления; оптимизация; OpenFlow.

Ye. V. Orlov, I. E. Pokhabova

### APPROACH OF INTRODUCTION OF ADAPTIVE MANAGEMENT OF SOFTWARE-DEFINED NETWORK

The article discusses a method of increasing the operation speed and bandwidth of network components of Software-Defined Networks (SDN), which is based on the principle of organization of adaptive management of network traffics in SDN, involves variation of network traffic tables of OpenFlow-commutators and OpenFlow-routers. The method consists in the fact that a network packet is sent to the controller of the Software-Defined Network with an additionally activated unit for determination of a network traffic priority, in which a set of quality parameters of network traffic as to ToS bite is determined.

**Keywords:** Software-Definded Network; control system; optimization; OpenFlow.