

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ВИРТУАЛЬНЫХ КОММУТАТОРОВ С ПОДДЕРЖКОЙ OPENFLOW

*Ушакова М.В.<sup>1</sup>, Ушаков Ю.А.<sup>1</sup>, Болодурина И.П.<sup>1</sup>, Тарасов В.Н.<sup>2</sup>, Бахарева Н.Ф.<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup> Оренбургский государственный университет, Оренбург, РФ*

*<sup>2</sup> Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Самара, РФ*

*E-mail: m.v.ushakova@mail.ru, prmat@mail.osu.ru,*

*tarasov-vn@psuti.ru, bahareva-nf@psuti.ru*

В статье рассматриваются проблемы, возникающие при разных способах подключения сетевых виртуальных коммутаторов и использования режима OpenFlow. Предложена методика автоматизированного исследования параметров производительности виртуальных коммутаторов с поддержкой OpenFlow. В ходе исследования выявлены режимы, при которых возникают существенные потери пакетов и задержки более 100 мс. Установлено, что на различных участках пути следования пакета использование Open vSwitch в режиме OpenFlow внутри виртуальных машин не оптимально, при этом для систем виртуализации подключение посредством Open vSwitch является более предпочтительным, чем Linux Bridge. Превышение нагрузки сверх выявленных границ влечет за собой необходимость оптимизации Open vSwitch и установки модуля DPDK для низко латентной коммутации или изменения балансировки нагрузки на такие узлы.

**Ключевые слова:** *OpenFlow, Open vSwitch, задержки, производительность, трафик*

### **Введение**

В современных IT-инфраструктурных проектах чаще всего применяются системы, основанные на виртуализации и контейнеризации приложений и сетевых функций (NFV, Network Function Virtualization). Как в виртуализации, так и в NFV используются виртуальные коммутаторы для соединения с реальными сетевыми картами и между виртуальными машинами. Большая часть проектов по реализации NFV основывается на классических системах облачной виртуализации, например, VMware (vCloud NFV) и OpenStack (OPNFV, OSM), которые используют, соответственно, виртуальные коммутаторы vSwitch (также vDS) и Open vSwitch (OVS). Поскольку OVS является открытой реализацией коммутатора с поддержкой OpenFlow, его используют как один из основных коммутаторов такие платформы, как OpenStack, OpenNebula, OpenShift, в том числе в режиме OpenFlow с проактивными правилами OpenNebula и с контроллером OpenStack.

Изучение работы Open vSwitch в разных вариантах при различной нагрузке может раскрыть источники проблем, которые могут возникать в таких средах при превышении допустимых показателей сети. В статье описан метод получения таких параметров производительности коммутатора, как задержка обработки пакета (фрейма), максимальная пропускная способность. Метод позволяет оценить влияние конфигурации и режимов OpenFlow на производительность.

### **Обзор методов оценки состояния качественных показателей сети**

Для оценки текущего состояния качественных показателей сети часто используются методы ее упреждающей диагностики [1]. Трафик может быть проанализирован как программными, так и аппаратными методами. Получение данных может производиться на обычном ПК, используемом в качестве аппаратного зонда, или на сетевом устройстве с использованием таких протоколов, как, например, NetFlow, SFlow или RMON. При этом полученная информация интерпретируется посредством специального программного обеспечения.

Для анализа трафика также могут быть использованы встроенные средства маршрутизаторов и операционных систем. Примерами таких средств могут выступать IpFilter, NetFlow, IPfw [2]. Для детального анализа сохраненного трафика используются так называемые стековые анализаторы. Один из наиболее распространенных продуктов для мониторинга от компании Fluke Networks – интегрированный сетевой анализатор OptiView Network Analyzer [3]. OptiView Network Analyzer обеспечивает обзор всей корпоративной сети и помогает управлять изменениями инфраструктуры, решать проблемы производительности сети и защищать ее от внутренних угроз. Данное портативное устройство включает функции обследования сети, анализа трафика и инфраструктуры, захвата пакетов и поддержку WAN, WLAN и VoIP. При этом стоимость этого прибора очень высока.

Для анализа потоков высокоскоростных соединений могут быть использованы аппаратные анализаторы. Они довольно хорошо справляются с анализом и позволяют производить диагностику 1–2 уровней OSI. Аппаратные анализаторы отличаются возможностью автономного использования в любом месте сети и стандартизованным интерфейсом управления. Кроме того, работа таких устройств не зависит от используемых технологий и программного обеспечения. Но основным недостатком таких комплексов является очень высокая стоимость [4].

Один из способов определить показатели производительности сети связан с использованием технологии NetFlow компании Cisco Systems [5]. Технология NetFlow позволяет собирать и получать статистику по потокам данных, проходящих через оборудование Cisco. Проходящий через устройство пакет может быть проанализирован посредством коллекторов сборщиков данной информации, например, Reporter Analyzer от Fluke Networks или Observer от Network Instruments [6; 7]. На основе проведенного анализа может быть получена точная информация о потоке.

Другой способ получения информации о состоянии сети непосредственно от агентов сети, применяемый в некоторых программных комплексах, – использование протокола SNMP. Однако программы сетевого мониторинга на основе протокола SNMP отражают статистику ошибок в сети не всегда адекватно, т. к. встроенный в активное оборудование агент SNMP всегда наблюдает за состоянием сети только из одной точки. Кроме того, многие устройства SNMP работают только на первом и втором уровнях OSI [8]. Так же, как и протоколы сбора статистики NetFlow и sFlow, протокол SNMP предоставляет возможность только сбора и транспортировки информации на коллектор, анализ же должен производиться другими приложениями.

Для мониторинга и управления сетью по протоколу SNMP существует огромный выбор законченных решений. Однако задачи автоматического управления сетью требуют наличия аппарата анализа и средств прогнозирования для системы принятия решений.

Для анализа сетей существует целый ряд ограничений, в частности:

- применение произвольных внешних программ анализа и интерпретации результатов затруднено закрытым форматом передачи и хранения данных;
- отсутствие во всех системах единого открытого формата сведений о структуре сети;

– все системы являются коммерческими и не допускают внесения изменений в программный код для адаптации к решаемой задаче;

– затруднена адаптация всех систем во внешние комплексы анализа в реальном времени [9].

Для решения названных проблем в настоящей работе предлагается методика исследования виртуального коммутатора, позволяющая изучить поведение устройства при различных его конфигурациях.

### **Методика автоматизированного исследования параметров производительности виртуальных коммутаторов с поддержкой OpenFlow**

Для получения набора зависимостей временных и нагрузочных характеристик от входных параметров трафика, настроек и текущей нагрузки виртуальных коммутаторов предложена методика автоматизированного экспериментального исследования (см. рисунок 1).

Схема экспериментального исследования сетевого устройства включает в себя сервер с виртуальной машиной, опциональные вспомогательные коммутаторы Linux Bridge, исследуемые программные коммутаторы Linux Bridge и OVS как на хостовой машине, так и в виртуальной машине. Генерация трафика осуществляется утилитой *trafgen* по заранее созданным шаблонам пакетов с randomизацией MAC-адреса. Перед началом исследования создается первоначальный план генерации трафика с заданными интенсивностями и параметрами базовой настройки коммутаторов. Алгоритм запускает для каждой строчки плана эксперимента генератор с требуемыми параметрами, создает и управляет количеством задействованных виртуальных интерфейсов, задает параметры виртуальных коммутаторов через API.

На основе фиксации параметров трафика и временных срезов состояния устройства (дамп параметров и нагрузки на процессор и память) создается набор слепков состояний, параметров устройства, генераторов трафика и соответствующие им выборки времени задержки из анализатора дампов трафика и потери пакетов для каждого прогона. В процессе снятия показаний задержки обработки фрейма происходит динамическое формирование плана дальнейших исследований для корректировки интенсивности генерации при большом проценте потерянных пакетов.

### **Постановка эксперимента**

Для исследования работы виртуального коммутатора в различных условиях необходимо точ-

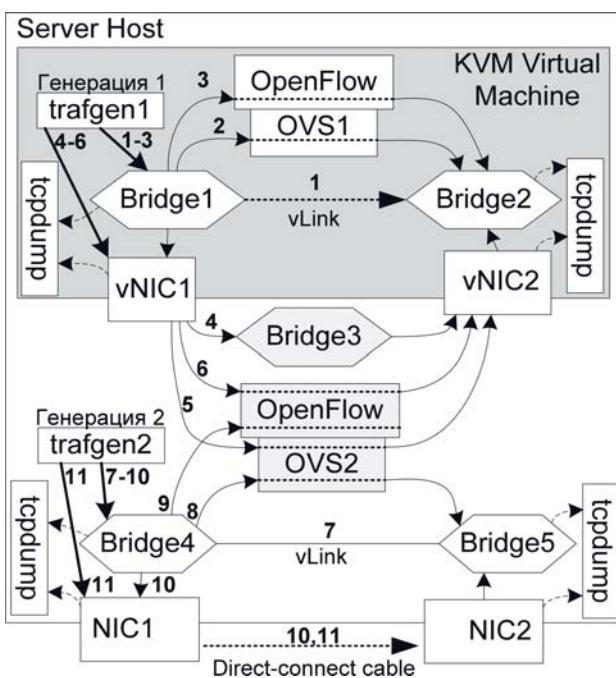


Рисунок 1. Схема экспериментального исследования сетевого устройства

но измерить время обработки фрейма и изучить влияние загрузки процессора на производительность, а также влияние конфигурации коммутатора на выходные характеристики. Для эксперимента были выбраны следующие конфигурации в соответствии с возможными путями трафика 1–11 на рисунке 1:

1. Изучение работы соединения через Linux Bridge внутри виртуальной машины (путь 1) и на оборудовании (путь 4).

2. Изучение работы соединения через мост Open vSwitch внутри виртуальной машины (путь 2) и на оборудовании (путь 5).

3. Изучение работы соединения через мост Open vSwitch в режиме OpenFlow с различным количеством установленных правил как внутри виртуальной машины (путь 3), так и на хостовой машине (путь 6).

4. Изучение работы соединения Bridge (путь 7), OVS (путь 8), OVS+OpenFlow (путь 9) на хостовой машине.

5. Изучение работы соединения через внешние сетевые карты (путь 11) и через Bridge и внешние сетевые карты (путь 10).

Поскольку виртуальный коммутатор при передаче пакетов не имеет задержку на сериализацию, передачу в линию, передачу по кабелю, то задержки в сетевой карте при использовании NFV могут составлять существенную долю от общей задержки при низких нагрузках. Для проведения экспериментального исследования был разработан и реализован алгоритм, запускающий серию

Таблица. План исследований – интервал между пакетами при генерации трафика

Путь	Конфигурация	Место прогона	
		Host	KVM
1,7	Linux Bridge	1,10,50	1,10,50
2,8	OVS	1,10,50	1,10,50
3,9	OVS+OpenFlow 100 правил	1,10,50	10,50,100
3,9	OVS+OpenFlow 1000 правил	1,10,50	10,50,100
4,10	Linux Bridge для внешней сети	1,10,50	10,50,100
5	OVS для внешней сети	1,10,50	1,10,50
6	OVS+OpenFlow для внешней сети, 1, 100, 1000 правил	1,10,50	1,10,50
10,11	Прямое соединение	1,10,50	1,10,50

экспериментов по заданным заранее сетевым интерфейсам. При задании режима OVS+OpenFlow генерируется заданное количество правил со случайными адресами и номерами портов.

Для генерации необходима рандомизация MAC-адресов для снижения влияния кеша. Каждый прогон проходил для размера пакетов 64 байт с параметрами генерации пакетов, указанных в таблице. Эти параметры были получены путем предварительного прогона и поиска таких интенсивностей генерации, при которых потеря пакетов не превышает 1 % от общего их числа.

Предварительный эксперимент показал, что производительность в различных конфигурациях отличается в несколько раз.

## Эксперимент

Эксперимент проводился на сервере 2×Intel Xeon E5 6 ядер, 64ГБ ОЗУ DDR3-ECC, 2×SAS SSD RAID0. Первая серия прогонов запускалась на хостовой OC Ubuntu server 20.04. Вторая серия на виртуальной машине KVM с такой же конфигурацией операционной системы и сетевыми адаптерами e1000 и коммутацией OVS. Третья серия прогонов проходила на виртуальной машине VMware ESXi с аналогичной конфигурацией и сетевым коммутатором vSwitch.

Для генерации трафика использовался trafgen с рандомизацией MAC-адреса получателя и отправителя, а также с параметром интервала времени между пакетами в мкс. Результат измерений на различных вариантах конфигураций показан на рисунке 2.

Потери пакетов размера 64 байт при использовании OpenFlow в виртуальной среде показаны на рисунке 3.

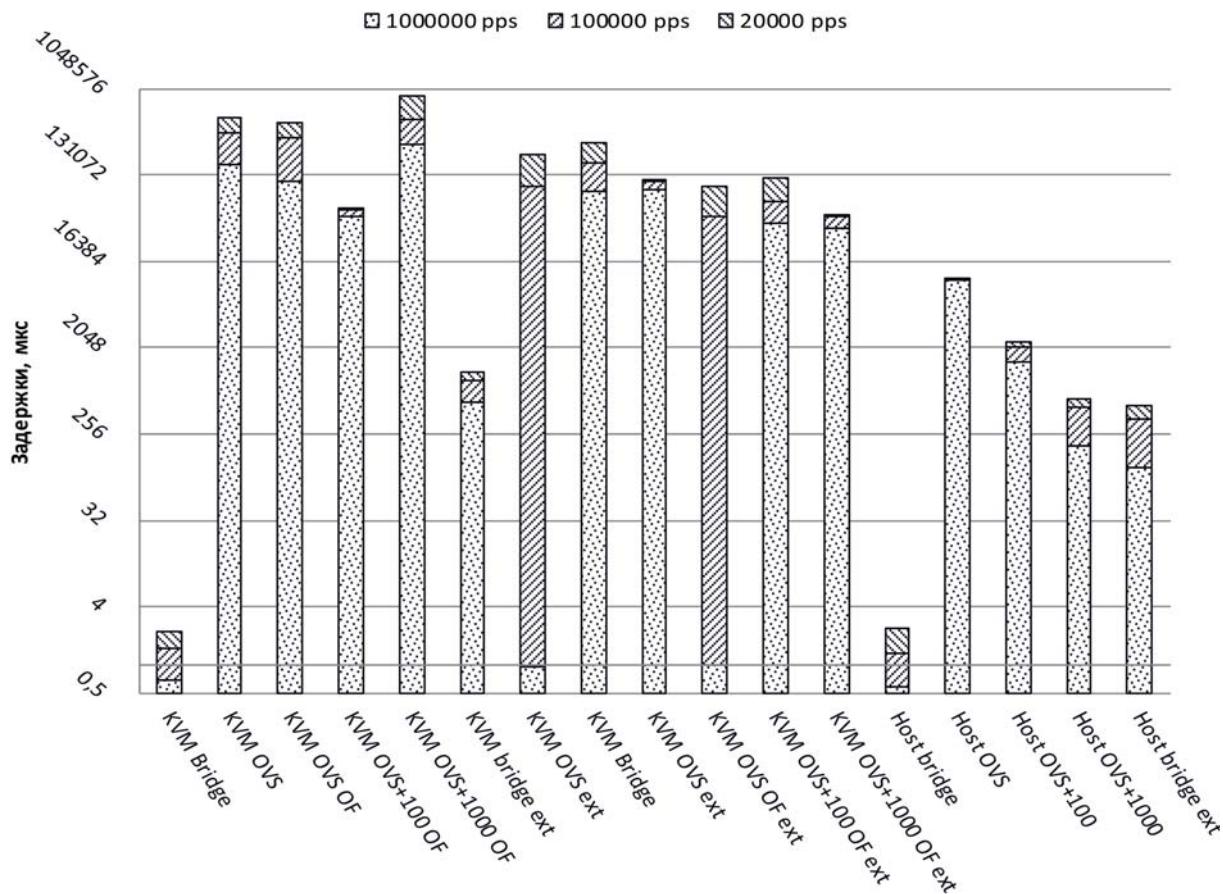


Рисунок 2. Измерение задержек на различных вариантах конфигурации

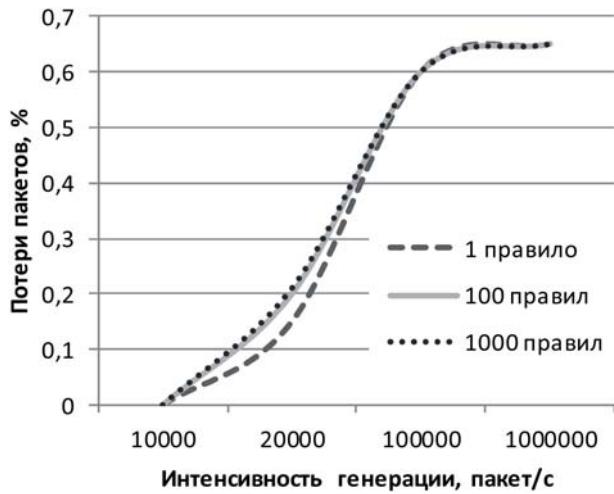


Рисунок 3. Потери пакетов OVS+OpenFlow в KVM

На аппаратном сервере потерь пакетов не наблюдается при любых сочетаниях параметров генерации трафика, а также при размере пакета более 500 байт в KVM. Задержки в режимах, где начинаются потери пакетов, растут экспоненциально (см. рисунок 4).

Анализ прогона трафика через две сетевые карты виртуальной машины через коммутатор виртуализации показал, что потери на сериализацию и эмуляцию отсылки пакета составляют

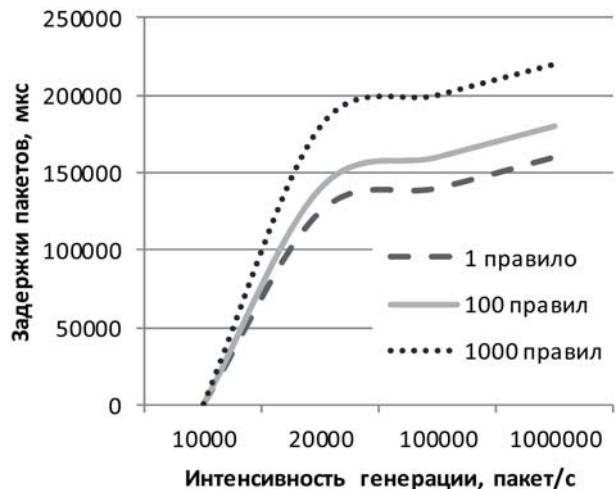


Рисунок 4. Задержки OVS+OpenFlow в KVM

порядка 200–300 мкс через коммутатор OVS и 120 мкс при использовании Linux Bridge.

Но максимальная производительность Linux Bridge при коммутации виртуальной машины на пакетах 64 байт ниже почти в два раза, чем OVS. Потери пакетов при использовании Linux Bridge начинались при скорости генерации от 100000 пакетов/с по 64 байт, тогда как OVS не терял пакеты и при скорости генерации 1000000 пакетов/с по 64 байт.

## Заключение

В статье проведено исследование различных сочетаний видов подключения сетевых виртуальных коммутаторов и режима OpenFlow. В ходе исследования получены результаты, показывающие режимы, в которых возможны как потери пакетов более 50 %, так и задержки более 100 мс. Исследованы различные участки пути следования пакета, установлено, что внутри виртуальных машин оптимальнее не использовать Open vSwitch в режиме OpenFlow, а в системе виртуализации, наоборот, лучше использовать Open vSwitch, чем Linux Bridge. При превышении нагрузки более выявленных границ необходимо оптимизировать Open vSwitch и устанавливать модуль DPDK для низко латентной коммутации или изменять балансировку нагрузки на такие узлы.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ (проекты № 20-57-53019 и 18-07-01446 А) и гранта Президента РФ для государственной поддержки ведущих научных школ Российской Федерации (проект № НШ-2502.2020.9).

## Литература

1. Дергунова Е.Е., Морозова К.С. Искусство диагностики локальных сетей // Наука и образование в современном мире. 2015. № 6. С. 16–17.
2. Design and implementation of multicast routing system over SDN and sFlow / L. Huang [et al.] // 8th IEEE International Conference on Communication Software and Networks (ICCSN), Beijing. 2016. P. 524–529.
3. Ганьжа Д. FLUKE NETWORKS готовит предложения для российского рынка // Журнал сетевых решений LAN. 2017. № 10. С. 2–9.
4. Чиков А.Е. Аппаратно-программные средства анализа корпоративной сети // Системы управления, технические системы: устойчивость, стабилизация, пути и методы исследования. 2016. С. 258–262.
5. Flow Analysis. Observer Analyzer integrates NetFlow // Softing IT Networks GmbH. URL: [https://itnetworks.softing.com/fileadmin/media/documents/products/viavi/Analyzer/VIAVI\\_Observer-Analyzer-brochure\\_flow\\_analysis\\_Softing\\_IT\\_Networks\\_english.pdf](https://itnetworks.softing.com/fileadmin/media/documents/products/viavi/Analyzer/VIAVI_Observer-Analyzer-brochure_flow_analysis_Softing_IT_Networks_english.pdf) (дата обращения: 01.10.2020).
6. Quality control and processing of cooperative observer program hourly precipitation data / J.H. Lawrimore [et al.] // Journal of Hydrometeorology. 2020. Vol. 21, no. 8. P. 1811–1825.
7. Demaria E.M.C., Goodrich D.C., Kunkel K.E. Evaluating the reliability of the US cooperative observer program precipitation observations for extreme events analysis using the LTAR network // Journal of Atmospheric and Oceanic Technology. 2019. Vol. 36, no. 3. P. 317–332.
8. Slabicki M., Gochla K. Performance evaluation of CoAP, SNMP and NETCONF protocols in fog computing architecture // NOMS 2016-2016 IEEE/IFIP Network Operations and Management Symposium. 2016. P. 1315–1319.
9. Преображенский Ю.П. Проблемы анализа работоспособности компьютерных сетей // Наука молодых – будущее России. 2019. С. 141–144.
10. Малахов С.В., Тарасов В.Н., Карташевский И.В. Теоретическое и экспериментальное исследование задержки в программно-конфигурируемых сетях // Инфокоммуникационные технологии. 2015. Т. 13, № 4. С. 409–413.
11. Development of network security tools for enterprise software-defined networks / A. Shukhman [et al.] // 8th International conference on security of information and networks SIN, Sochi. 2015. P. 224–228. DOI: <https://doi.org/10.1145/2799979.2800009>
12. Analysis of intervals between traffic packets on the SDN networks depending on the TCP window size / V. Tarasov [et al.] // Problems of Infocommunications Science and Technology (PIC S&T). 2016 Third International Scientific-Practical Conference, Kharkiv, Ukraine. 2016. P. 15–17. DOI: <https://doi.org/10.1109/INFOCOMMST.2016.7905322>

Получено 21.10.2020

**Ушакова Маргарита Викторовна**, старший преподаватель кафедры геометрии и компьютерных наук (ГКН) Оренбургского государственного университета (ОГУ). 460018, Российская Федерация, г. Оренбург, пр. Победы, 13. Тел. +7 912 842-95-67. E-mail: m.v.ushakova@mail.ru

**Ушаков Юрий Александрович**, к.т.н., доцент кафедры ГКН ОГУ. 460018, Российская Федерация, г. Оренбург, пр. Победы, 13. Тел. +7 922 536-40-81. E-mail: unpk@mail.ru

**Болодурина Ирина Павловна**, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой прикладной математики ОГУ. 460018, Российская Федерация, г. Оренбург, пр. Победы, 13. Тел. +7 905 819-01-53. E-mail: prmat@mail.osu.ru

**Тарасов Вениамин Николаевич**, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой программного обеспечения и управления в технических системах Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики (ПГУТИ). 443010, Российская Федерация, г. Самара, ул. Л. Толстого, 23. Тел. +7 846 228-00-13. E-mail: tarasov-vn@psuti.ru

**Бахарева Надежда Федоровна**, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой информатики и вычислительной техники ПГУТИ. 443010, Российская Федерация, г. Самара, ул. Л. Толстого, 23. Тел. +7 846 339-11-31. E-mail: bahareva-nf@psuti.ru

## RESEARCH PERFORMANCE PARAMETERS OF VIRTUAL SWITCHES WITH OPENFLOW SUPPORT

*Ushakova M.V.<sup>1</sup>, Ushakov Y.A.<sup>1</sup>, Bolodurina I.P.<sup>1</sup>, Tarasov V.N.<sup>2</sup>, Bakhareva N.F.<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup>Orenburg State University, Orenburg, Russian Federation*

*<sup>2</sup>Povelzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, Samara, Russian Federation*

*E-mail: m.v.ushakova@mail.ru, prmat@mail.osu.ru,*

*tarasov-vn@psuti.ru, bahareva-nf@psuti.ru*

This article discusses the problems that arise with different ways of connecting network virtual switches and using the OpenFlow mode. A technique for automated research of performance parameters of virtual switches with OpenFlow support is proposed. In the course of the study, modes were identified in which significant packet losses and delays of more than 100 ms occur. It was found that at different parts of the packet's route, using Open vSwitch in OpenFlow mode inside virtual machines is not optimal, while for virtualization systems, the connection via Open vSwitch is more preferable than Linux Bridge. Exceeding the load beyond the identified limits entails the need to optimize Open vSwitch and install a DPDK module for low-latency switching or change the load balancing on such nodes.

**Keywords:** *OpenFlow, Open vSwitch, latency, performance, traffic*

**DOI:** 10.18469/ikt.2020.18.4.04

**Ushakova Margarita Viktorovna**, Orenburg State University, 13, Prospect Pobedy, Orenburg, 460018, Russian Federation; Senior Teacher of Geometry and Computer Science Department. Tel. +7 912 842-95-67. E-mail: m.v.ushakova@mail.ru

**Ushakov Yuriy Alexandrovich**, Orenburg State University, 13, Prospect Pobedy, Orenburg, 460018, Russian Federation; Associate Professor of Geometry and Computer Science Department, PhD in Technical Science. Tel. +7 922 536-40-81. E-mail: unpk@mail.ru

**Bolodurina Irina Pavlovna**, Orenburg State University, 13, Prospect Pobedy, Orenburg, 460018, Russian Federation; Professor, Head of Applied Mathematics Department, Doctor of Technical Science. Tel. +7 905 819-01-53. E-mail: prmat@mail.osu.ru

**Tarasov Veniamin Nikolaevich**, Povelzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, 23, L. Tolstoy Street, 443010, Russian Federation; Professor, Head of Software and Management in Technical Systems Department, Doctor of Technical Science. Tel. +7 846 228-00-13. E-mail: tarasov-vn@psuti.ru

**Bakhareva Nadezhda Fedorovna**, Povelzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, 23, L. Tolstoy Street, 443010, Russian Federation; Professor, Head of Informatics and Computer Engineering Department, Doctor of Technical Science. Tel. +7 846 339-11-31. E-mail: bahareva-nf@psuti.ru

## References

1. Dergunova E.E., Morozova K.S. The art of LAN diagnostics. *Nauka i obrazovanie v sovremenном мире*, 2015, no. 6, pp. 16–17. (In Russ.)
2. Huang L. et al. Design and implementation of multicast routing system over SDN and sFlow. *8th IEEE International Conference on Communication Software and Networks (ICCSN)*, Beijing, 2016, pp. 524–529.
3. Gan'zha D. FLUKE NETWORKS prepares proposals for the Russian market. *Zhurnal setevyh reshenij LAN*, 2017, no. 10, pp. 2–9. (In Russ.)
4. Chikov A.E. Hardware and software for corporate network analysis. *Sistemy upravlenija, tehnicheskie sistemy: ustojchivost', stabilizatsija, puti i metody issledovanija*, 2016, pp. 258–262. (In Russ.)
5. Flow Analysis. Observer Analyzer integrates NetFlow // *Softing IT Networks GmbH*. URL: [https://itnetworks.softing.com/fileadmin/media/documents/products/viavi/Analyzer/VIAVI\\_Observer-Analyzer-brochure\\_flow\\_analysis\\_Softing\\_IT\\_Networks\\_english.pdf](https://itnetworks.softing.com/fileadmin/media/documents/products/viavi/Analyzer/VIAVI_Observer-Analyzer-brochure_flow_analysis_Softing_IT_Networks_english.pdf) (accessed: 01.10.2020).
6. Lawrimore J.H. et al. Quality control and processing of cooperative observer program hourly precipitation data. *Journal of Hydrometeorology*, 2020, vol. 21, no. 8, pp. 1811–1825.
7. Demaria E.M.C., Goodrich D.C., Kunkel K.E. Evaluating the reliability of the US cooperative observer program precipitation observations for extreme events analysis using the LTAR network. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 2019, vol. 36, no. 3, pp. 317–332.
8. Slabicki M., Gochla K. Performance evaluation of CoAP, SNMP and NETCONF protocols in fog computing architecture. *NOMS 2016-2016 IEEE/IFIP Network Operations and Management Symposium*, 2016, pp. 1315–1319.
9. Preobrazhenskij Yu.P. Problems of analyzing the health of computer networks. *Nauka molodyh – buduschee Rossii*, 2019, pp. 141–144. (In Russ.)
10. Malahov S.V., Tarasov V.N., Kartashevskij I.V. Theoretical and experimental study of latency in software-configurable networks. *Infokommunikacionnye tehnologii*, 2015, vol. 13, no. 4, pp. 409–413. (In Russ.)
11. Shukhman A. et al. Development of network security tools for enterprise software-defined networks. *8th International conference on security of information and networks SIN*, Sochi, 2015, pp. 224–228. DOI: <https://doi.org/10.1145/2799979.2800009>
12. Tarasov V. et al. Analysis of intervals between traffic packets on the SDN networks depending on the TCP window size. *Problems of Infocommunications Science and Technology (PIC S&T). 2016 Third International Scientific-Practical Conference*, Kharkiv, Ukraine, 2016, pp. 15–17. DOI: <https://doi.org/10.1109/INFOCOMMST.2016.7905322>

Received 21.10.2020

УДК 519.872

## АНАЛИЗ КОРРЕЛИРОВАННОЙ ОЧЕРЕДИ В СИСТЕМЕ G/G/1

Буранова М.А., Резяпкина М.И.

Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Самара, РФ

E-mail: buranova-ma@psuti.ru, rez8pkina@mail.ru

В статье рассматриваются коррелированные очереди, в которых время обслуживания пакета сильно коррелировано с временем между поступлениями пакетов из-за конечной пропускной способности входных и выходных каналов. Рассмотрены подходы к оценке параметров функционирования сетей с коррелированными очередями. Представлен аналитический метод для получения оценки времени ожидания пакета в сети на основе подхода с использованием копул. Исследованы корреляционные свойства реального видеотрафика, определены законы распределений для интервалов времени между пакетами и времен обработки пакетов, наиболее точную аппроксимацию дало распределение Вейбулла. Определено, что интервалы времени между пакетами и времена обработки