

ОПТИМИЗАЦИЯ IP СЕТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНО-КОНФИГУРИРУЕМЫХ СЕТЕЙ

*Семенов Е.С., Деогенов М.С., Галич С.В., Тюхтяев Д.А., Пасюк А.О.
Волгоградский государственный университет, Волгоград, РФ
E-mail: essemenov@mail.ru*

В статье рассматривается проблематика использования ARP протокола в рамках эксплуатации IP сетей второго уровня и возможные пути оптимизации подобных сетей с помощью сетевых решений на базе программно-конфигурируемых сетей (SDN). Представлена возможность интеграции ARP сервера в рамках определенной сетевой инфраструктуры, основанной на SDN. Наличие подобного ARP сервера может существенно снизить риски возникновения подмены ARP сообщений в сети, тем самым увеличив безопасность и отказоустойчивость сетевой инфраструктуры. Оптимизация рассылки широковещательных сообщений в сети также влияет на контроль и сегментацию доступа в пределах одного широковещательного домена и представляет собой дополнительное средство сетевого администрирования. Также представлены положительные тенденции развития подхода использования ARP сервера с участием SDN решений.

Ключевые слова: Address Resolution Protocol, локальная вычислительная сеть, ARP запрос, Software Defined Networking, Ethernet, Media Access Control.

Введение

С постоянным ростом объемов передаваемого трафика в сети провайдера оптимизация инфраструктуры сети имеет важное значение. Зачастую при наличии всех необходимых ресурсов сеть не может обеспечить должную функциональность и отказоустойчивость. Даже небольшая сеть, имеющая выход в глобальную сеть, с точки зрения эксплуатации и выявления проблем может представлять весьма серьезные задачи. На данный момент реализация программно-конфигурируемых сетей на определенных уровнях сети может способствовать существенной оптимизации сетевой инфраструктуры и обеспечить более рациональное использование сетевых возможностей. Одной из важных характеристик сети является использование ARP протокола.

При наличии даже небольшой сетевой инфраструктуры чрезмерное количество ARP запросов может отрицательно влиять на производительность сети, к тому же ARP является одним из слабых мест с точки зрения организации безопасности сети, и использования различных механизмов может привести к утечке информации или выходу из строя отдельного сетевого элемента или целой сети. При росте количества ARP запросов в определенном сегменте сети дополнительно будет увеличиваться и нагрузка на активные сетевые элементы, обрабатывающие данные запросы. Что также скажется весьма отрицательно на качестве работы сетевой инфраструктуры.

Протокол определения адреса (ARP)

Протокол ARP (Address Resolution Protocol) предназначен для взаимодействия уровня 2 с уровнем 3. Существуют следующие типы сообщений ARP: запрос ARP (ARP request) и ответ ARP (ARP reply). Отправитель при помощи запроса ARP запрашивает физический адрес получателя, в свою очередь ответ от получателя приходит в виде ответа ARP. В случае IP сети ARP протокол позволяет определить MAC адрес устройства по известному IP адресу. Все элементы сети, прослушивающие сообщения ARP, должны обрабатывать данные пакеты со своей стороны, что приводит к дополнительной нагрузке на производительность оборудования. Описание протокола было опубликовано в ноябре 1982 года в рекомендации IETF - RFC 826 [3]. Пример распространения широковещательного запроса в пределах одного широковещательного домена показан на рис. 1. Широковещательный ARP запрос генерируется сетевым элементом с IP адресом 10.0.0.1, так как ему требуется определить MAC адрес, принадлежащий сетевому элементу 10.0.0.2. В свою очередь, ARP запрос представляет пакет с указанным MAC адресом назначения FFFF:FFFF:FFFF, который характеризует данный ARP запрос как широковещательный. Данный пакет, поступая на сетевой элемент SW4, будет принят коммутатором и разослан во все порты, кроме того, из которого поступил. Соответственно, количество широковещательных запросов будет соответствовать количеству активных сетевых соединений между активным оборудованием: $\sum Bp = \sum El$, где

Bp (broadcast packet) – количество широковещательных запросов; *EL* (Ethernet Link) – количество активных сетевых соединений.

В данном случае число широковещательных запросов, инициированных с одного сетевого элемента, составляет 7 шт. При росте количества сетевых элементов и возрастании активных сетевых соединений будет расти и число широковещательных запросов. Процентное соотношение широковещательного трафика от всего остального в рамках одного домена может составлять 12-15% от общего количества трафика.

ARP в программно-конфигурируемых сетях

Одной из основных задач SDN сети является отделение служебного трафика от пользовательского. Под служебным трафиком понимается

вся активная пакетная нагрузка, используемая для обслуживания сетевых протоколов в рамках конкретной сетевой инфраструктуры. В качестве пользовательского трафика выступает пакетная нагрузка, инициированная конкретным пользователем.

В рамках использования SDN основным отличием от традиционной сети является тот факт, что контроллер самостоятельно отправляет ARP ответ активным сетевым устройствам, направившим ARP запрос. Соответственно, при рассмотрении использования подхода SDN совместно с определенной сетевой инфраструктурой применение протокола ARP остается актуальным. Схема распространения ARP запросов в SDN сети показана на рис. 2.

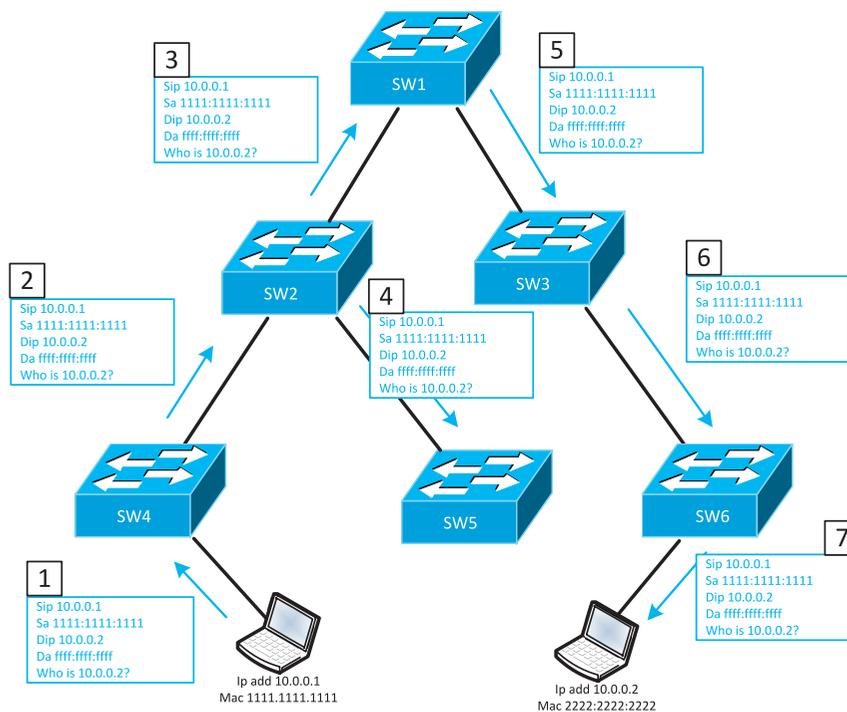


Рис. 1. Пример распространения ARP запроса без участия SDN решений

Соответственно, широковещательный ARP запрос генерируется сетевым элементом с IP адресом 10.0.0.1 с задачей определить MAC адрес, принадлежащий сетевому элементу 10.0.0.2. В свою очередь, аналогично распространению в сети без SDN - ARP запрос представляет пакет с указанным MAC адресом назначения FFFF:FFFF:FFFF, который и характеризует данный ARP запрос как широковещательный. Далее пакет поступает на коммутатор OVS S1, который, в свою очередь, данный запрос направляет

к контроллеру SDN. Далее SDN контроллер определяет соответствие IP и MAC адресов и формирует ARP ответ с указанным MAC адресом сетевого элемента 10.0.0.2. Затем контроллер направляет ARP ответ на коммутатор OVS S1, а тот, в свою очередь, пересылает на сетевой элемент 10.0.0.1. После данной процедуры сетевой элемент 10.0.0.1 запоминает в собственной ARP таблице MAC адрес сетевого элемента 10.0.0.2 и может формировать пакеты уже непосредственно до сетевого элемента 10.0.0.2.

Для повышения контроля за ARP запросами, локализации избыточных запросов, повышения качества и надежности сети возможно использование ARP сервера в рамках сетевой инфраструктуры. Использование ARP сервера подразумевает интеграцию в сеть сервера с постоянно обновляющейся базой данных по IP ARP TABLE, собираемой со всех активных устройств в сети. Использование данного сервера позволит:

- полностью контролировать количество ARP запросов со всех сетевых устройств в рамках одного сетевого элемента (ARP сервера);

- ARP запросов со всех сетевых устройств в рамках одного сетевого элемента (ARP сервера);
- обеспечить выявление лишних или отсутствие обязательных ARP записей в IP ARP TABLE, что существенно повысит надежность и безопасность сетевой инфраструктуры;

- записывать и хранить все процессы, касающиеся появления и активности всех ARP запросов в конкретной сетевой инфраструктуре. Обеспечить ограничение и расширение прав в доступе для конкретных сетевых узлов. Сегментировать IP ARP TABLE, тем самым разделяя один широковещательный домен на требуемое количество.

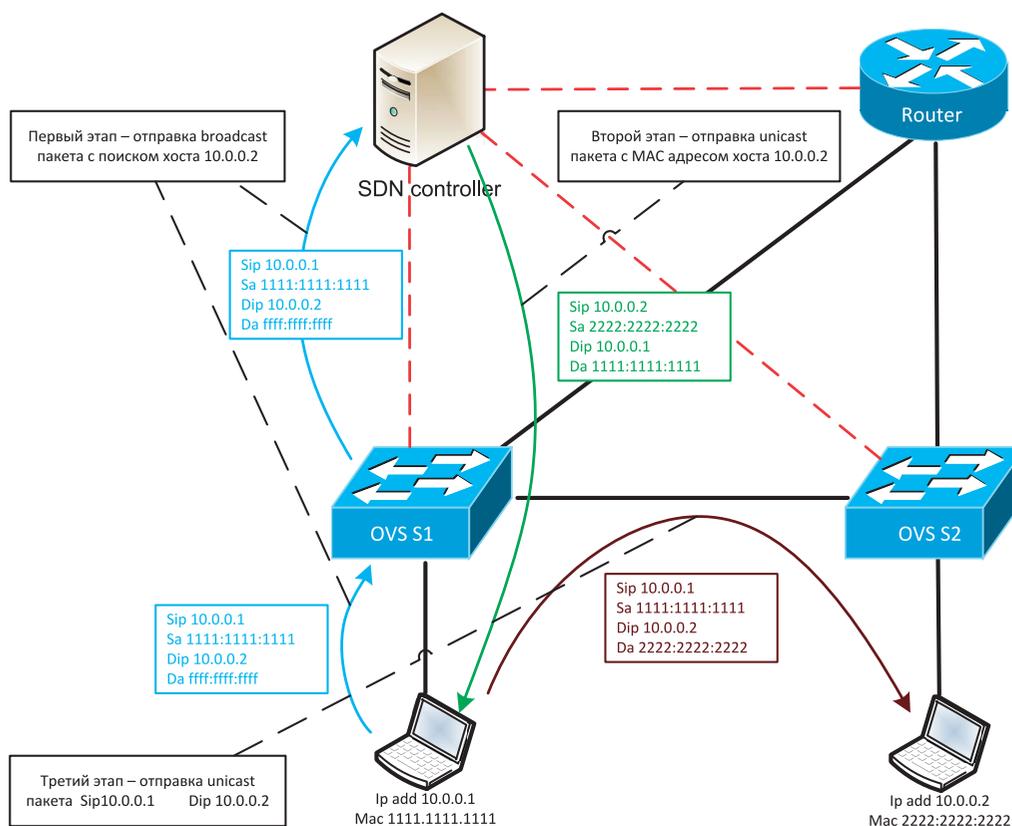


Рис. 2. Схема распространения ARP запроса в пределах SDN сети

На рис. 3 представлена схема распространения ARP запроса в пределах SDN сети с использованием ARP сервера. По аналогии со схемой распространения ARP запросов в пределах SDN сети ARP запрос генерируется сетевым элементом 10.0.0.1 и отправляет данный запрос на коммутатор OVS S1. Таким образом, основная задача при использовании ARP сервера заключается в необходимости при поступлении на любой из коммутаторов SDN пакета с Ethertype=0x0806 подменить в пакете поле Destination MAC на MAC адрес ARP сервера. Далее данный пакет преобразуется в однонаправленный (unicast) и

уже с измененным полем Destination MAC поступает на ARP сервер. ARP сервер проверяет соответствие в локальной IP ARP TABLE и отправляет ARP ответ на сетевой элемент 10.0.0.1.

После этого сетевой элемент 10.0.0.1 запоминает в собственной ARP таблице MAC адрес сетевого элемента 10.0.0.2 и может формировать пакеты уже непосредственно до сетевого элемента 10.0.0.2. При условии того, что в базе ARP сервера отсутствуют запрашиваемые данные, поле Source MAC в ARP можно заполнить любым сетевым MAC адресом, вследствие чего можно создать отдельное хранилище для ненайденных запросов.

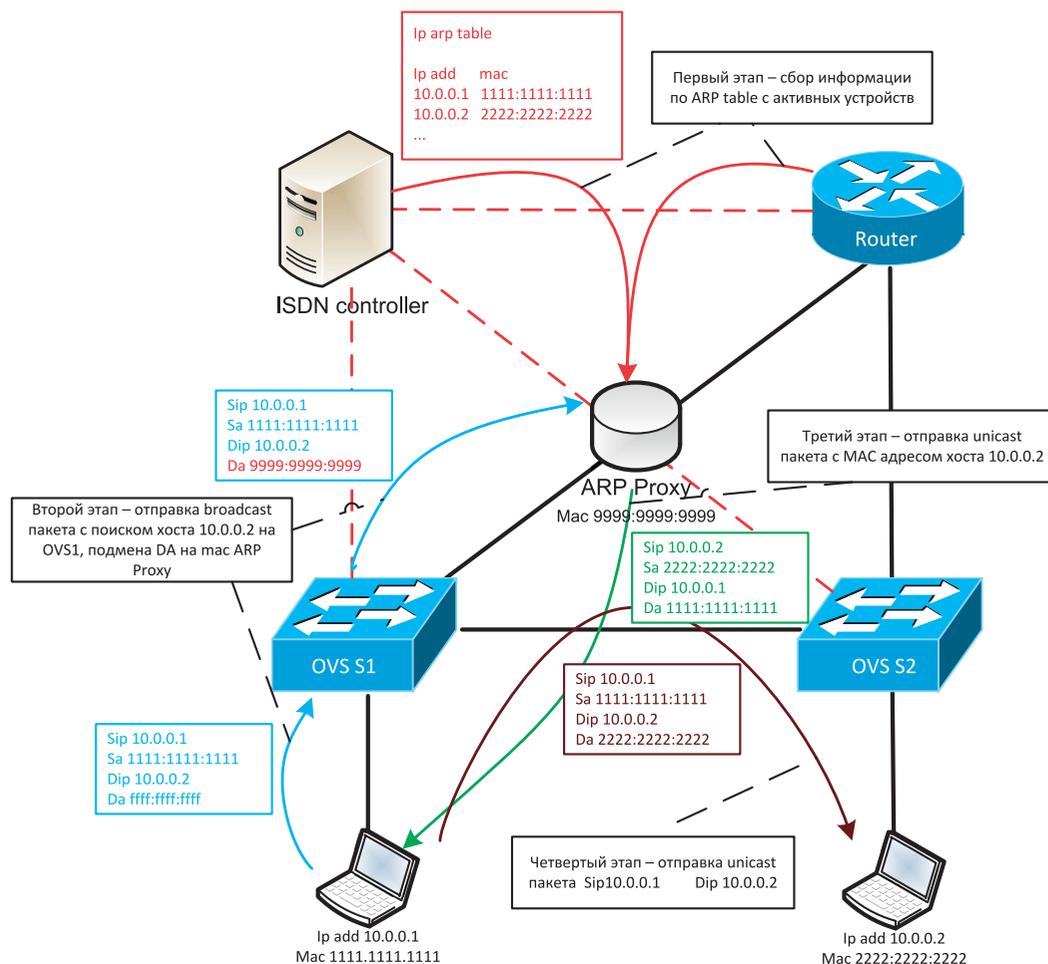


Рис. 3. Схема распространения ARP запроса в пределах SDN сети с использованием ARP сервера

Тем самым обезопасить и разгрузить сетевую инфраструктуру отсутствием лишних широковещательных пакетов и найти источник, по изученным сетевым атрибутам данных запросов. Алгоритм управления ARP запросами с использованием ARP сервера в SDN сети представлен на рис. 4.

Таким образом, использование ARP сервера может существенно уменьшить количество «лишних» ARP запросов в сети. Использование SDN в определенном сегменте сетевой инфраструктуры может существенно снизить нагрузку как на активное сетевое оборудование, так и на каналы связи существенным снижением количества широковещательных запросов.

Также при использовании данной концепции существенно снизится вероятность подмены MAC адреса на сети с точки зрения сетевой безопасности.

Заключение

Использование ARP сервера возможно как в рамках SDN сети, так и без участия SDN решений. К основным примерам реализации инфра-

структуры с использованием ARP сервера в SDN сети относятся:

- реализации закрытого ведомственного сегмента сети с заранее известным количеством сетевых элементов. Тем самым использование ARP сервера может положительно сказаться на организации безопасности внутри сетевой инфраструктуры, а именно обнаружением и выявлением «лишних» сетевых элементов, полным контролем внутрисетевого трафика в пределах одного широковещательного домена;

Использование ARP сервера в рамках сети FTТВ. С точки зрения использования SDN на сети провайдера связи для реализации широкополосного доступа существует ряд плюсов:

- отсутствие в необходимости локальной настройки активного сетевого оборудования, используемого в рамках реализации сети. Всю настройку сети необходимо будет проводить локально через SDN контроллер. Тем самым возможно существенное снижение затрат на эксплуатацию сетевой инфраструктуры;

- возможность интеграции абонентских устройств с фиксированными MAC адресами.

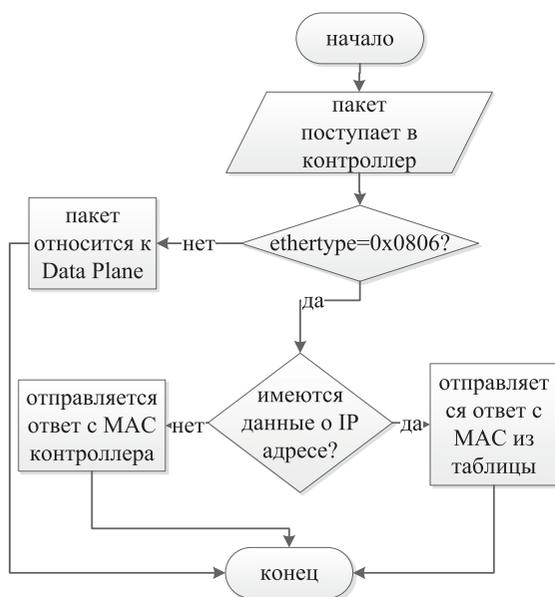


Рис. 4. Алгоритм управления ARP запросами с использованием ARP сервера в SDN сети

При реализации ARP сервера и также при условии того, что у абонентов будут реализованы устройства провайдера связи с фиксированной MAC адресацией, возможен перевод ряда функционала с AAA/Radius серверов на ARP сервер. В данном случае при заранее известной MAC адресации у клиента и при дополнительной реализации функционала PORT SECURITY на активном сетевом оборудовании уровня доступа возможен полный контроль доступа ШПД абонента. Также при реализации взаимодействия ARP сервера с системой биллинга провайдера связи возможно полностью отказаться от использования AAA/Radius серверов и функционал контроля доступа абонентов будет полностью выполнять ARP сервер.

Литература

1. H. Kim, N. Feamster. Improving Network Management with Software Defined Networking IEEE Network Magazine, 51(2), Feb. 2013 // http://www.cc.gatech.edu/~hkim368/publication/SDN_ieeemagazine_Kim.pdf (д.о. 22.06.2015).
2. N. Feamster et al. The Case for Separating Routing from Routers, ACM SIGCOMM Wksp. Future Directions in Network Architecture, Portland, OR, Sept. 2004 // <https://www.cs.princeton.edu/~jrex/papers/rcp.pdf> (д.о. 19.06.2015).
3. IP Addressing: ARP Configuration Guide, Cisco IOS Release 15M&T // <http://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/ios-xml/ios/ipaddrarp/configuration/15-mt/arp-15-mt-book.pdf> (д.о. 02.06.2015).
4. R. Chua. SDN and NFV Market Size Report and Forecast Predicts \$105B Impact by 2020 // <https://www.sdxcentral.com/articles/announcements/nfv-sdn-market-sizing-forecast-report-2015-download/2015/05/> (д.о. 30.06.2015).
5. X. Pan, W. Sun. Internet-Draft Address Resolution Delay in SDN // <https://tools.ietf.org/html/draft-pan-ippm-sdn-addr-resolv-perf-00> (д.о. 30.06.2015).
6. OpenFlow Switch Specification, Version 1.1.0 Implemented // www.archive.openflow.org/documents/openflow-wp-latest.pdf (д.о. 12.06.2015).
7. The OpenFlow Switch Specification // <http://OpenFlowSwitch.org> (д.о. 03.07.2015).
8. NetFPGA: Programmable Networking Hardware // <http://netfpga.org> (д.о. 24.06.2015).
9. Global Environment for Network Innovations // <http://geno.net> (д.о. 12.06.2015).
10. OpenFlow white paper // www.archive.openflow.org/documents/openflow-wp-latest.pdf (д. о. 27.05.2015).

Получено 21.10.2015

Семенов Евгений Сергеевич, к.т.н., доцент, зав. Кафедрой телекоммуникационных систем (ТКС) Волгоградского государственного университета (ВолГУ). Тел. 8-927-252-22-11. E-mail: esemenov@mail.ru

Деогенов Михаил Сергеевич, аспирант Кафедры ТКС ВолГУ. Тел. 8-927-500-00-97. E-mail: deogenov.ms@gmail.com

Галич Сергей Владимирович, аспирант Кафедры ТКС ВолГУ. Тел. 8-904-436-24-17. E-mail: sergeygali4@gmail.com

Тюхтяев Дмитрий Александрович, аспирант Кафедры ТКС ВолГУ. Тел. 8-906-408-13-42. E-mail: tyukhtyaevml@mail.ru

Пасюк Алексей Олегович, аспирант Кафедры ТКС ВолГУ. Тел. 8-961-667-02-91. E-mail: alex-ey_pas@rambler.ru

IP NETWORK OPTIMIZATION BY SOFTWARE DEFINED NETWORKS

*Semenov E.S., Deogenov M.S., Galich S.V., Tyukhtyaev D.A., Pasuk A.O.
Volgograd State University, Volgograd, Russian Federation
E-mail: essemenov@mail.ru*

Nowadays IP network optimization is one of the main priorities of service provider, and here Software Defined Networks (SDN) integration together with corporate network infrastructure is a very promising approach. This work is concerned with a problem of ARP protocol using under 2nd layer IP network operation and optimization of those networks by solutions based on SDNs. We demonstrated ability of ARP server integration under particular network infrastructure based on SDN. This ARP server may to reduce risks of ARP message spoofing, and therefore it improves network infrastructure security and fault tolerance. Optimization of broadcast messages mailing also affects to access control and segmentation over one broadcast domain. It is an additional tool for network management. In addition, we considered a positive trend of ARP server using with SDN solutions.

Keywords: Address Resolution Protocol, Local Area Network, ARP-request, Software Defined Networking, Ethernet, Media Access Control

DOI: 10.18469/ikt.2015.13.4.09

Semenov Evgeny Sergeevich, PhD in Technical Science, Associate Professor, Head of the Department of Telecommunication Systems, Volgograd State University, Volgograd, Russian Federation. Tel. +79272522211. E-mail: essemenov@mail.ru

Deogenov Mikhail Sergeevich, PhD-student, Department of Telecommunication Systems, Volgograd State University, Volgograd, Russian Federation. Tel. +79275000097. E-mail: deogenov.ms@gmail.com.

Galich Sergey Vladimirovich, PhD-student, Department of Telecommunication Systems, Volgograd State University, Volgograd, Russian Federation. Tel. +79044362417. E-mail: sergeygali4@gmail.com.

Tyukhtyaev Dmitry Alexandrovich, PhD-student, Department of Telecommunication Systems, Volgograd State University, Volgograd, Russian Federation. Tel. +79064081342. E-mail: tyukhtyaevml@mail.ru.

Pasuk Alexey Olegovich, PhD-student, Department of Telecommunication Systems, Volgograd State University, Volgograd, Russian Federation. Tel. +79616670291. E-mail: alexey_pas@rambler.ru.

References

1. H. Kim and N. Feamster. Improving Network Management with Software Defined Networking. *IEEE Network Magazine*, 2013, vol. 51, no. 2. pp. 114-119. doi: 10.1109/MCOM.2013.6461195
2. N. Feamster et al. The Case for Separating Routing from Routers. *ACM SIGCOMM Wksp. Future Directions in Network Architecture*, Portland, OR, Sept. 2004. doi: 10.1145/1016707.1016709
3. *IP Addressing: ARP Configuration Guide, Cisco IOS Release 15M&T*. Available at: http://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/ios-xml/ios/ipaddr_arp/configuration/15-mt/arp-15-mt-book.pdf (accessed 02.06.2015)
4. R. Chua. *SDN and NFV Market Size Report and Forecast Predicts \$105B Impact by 2020*. Available at: <https://www.sdxcentral.com/articles/announcements/nfv-sdn-market-sizing-forecast-report-2015-download/2015/05/> (accessed: 30.06.2015).
5. X. Pan, W. Sun. *Internet-Draft Address Resolution Delay in SDN*. Available at: <https://tools.ietf.org/html/draft-pan-ippm-sdn-addr-resolv-perf-00> (accessed: 30.06.2015)
6. *OpenFlow Switch Specification, Version 1.1.0 Implemented*. Available at: www.archive.openflow.org/documents/openflow-wp-latest.pdf (accessed: 12.06.2015).
7. *The OpenFlow Switch Specification*. Available at: <http://OpenFlowSwitch.org> (accessed: 03.07.2015).
8. *NetFPGA: Programmable Networking Hardware*. Available at: <http://netfpga.org> (accessed: 24.06.2015).
9. *Global Environment for Network Innovations*. Available at: <http://geno.net> (accessed: 12.06.2015).
10. *OpenFlow white paper*. Available at: www.archive.openflow.org/documents/openflow-wp-latest.pdf (accessed: 27.05.2015).

Received 21.10.2015