

**ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ****TECHNICAL SCIENCES**

УДК 004.7  
ББК 32.973.202  
П 16

**Панеш А.Х.**

*Кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной математики и информационных технологий факультета математики и компьютерных наук Адыгейского государственного университета, Майкоп, тел. (8772) 59-39-04, e-mail: apanesh@yandex.ru*

**Содержание и перспективы технологий программно-конфигурируемых сетей и виртуализации сетевых функций**  
(Рецензирована)

**Аннотация**

*Приводится обзор новых сетевых технологий: программно-конфигурируемых сетей (Software Defined Networks) и виртуализации сетевых функций (Network Functions Virtualization), которые стремительно развиваются в настоящее время. Показаны ограничения традиционных сетевых архитектур, не позволяющие удовлетворять потребности бизнеса. Проведен анализ структуры программно-конфигурируемой сети, реализованной с помощью стандарта OpenFlow. Поясняется схема продвижения пакетов между сетевыми устройствами при использовании OpenFlow. Показано место виртуализации сетевых функций в структуре программно-конфигурируемых сетей. Обосновывается необходимость скорейшего вовлечения российских IT-специалистов в разработку указанных технологий.*

**Ключевые слова:** программно-конфигурируемые сети (ПКС), Open Networking Foundation (ONF), виртуализация сетевых функций (ВСФ), интерфейс OpenFlow, ПКС-контроллер, сетевые протоколы, продвижение пакетов.

**Panesh A.Kh.**

*Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Applied Mathematics and Information Technology, Faculty of Mathematics and Computer Sciences, Adyghe State University, Mai-kop, ph. (8772) 59-39-04, e-mail: apanesh@yandex.ru*

**Contents and prospects of technologies of Software Defined Networks and Network Functions Virtualization**

**Abstract**

*The review of new network technologies is provided: program configured networks (Software Defined Networks) and Network Functions Virtualization which promptly develop now. Restrictions of the traditional network architecture, not allowing us to satisfy requirements of business, are shown. The analysis of structure of program configured networks realized by means of the OpenFlow standard is carried out. The scheme of advance of packages between network devices is explained when using OpenFlow. The place of virtualization of network functions in structure of program configured networks is shown. The fast involvement of the Russian IT specialists in development of the specified technologies is substantiated.*

**Keywords:** program configured networks (PCN), Open Networking Foundation (ONF), virtualization of network functions (VNF), OpenFlow interface, PKC-controler, network protocols, advance of packages.

**Введение**

Самой новой, значимой, «горячей» сетевой технологией сегодня является технология программно-конфигурируемых сетей (ПКС, Software Defined Networks – SDN), которая возникла в значительной степени как ответ на запросы бизнеса. ПКС позволяет снизить операционные и капитальные затраты телекоммуникационных компаний, Интернет-провайдеров, владельцев компьютерных сетей и центров обработки данных за счет эффективного решения задач повышения пропускной способности каналов связи, упрощения управления сетью, автоматического перераспределения нагрузки на сетевые

устройства и каналы, улучшения масштабируемости сети. IT-специалисты едины во мнении, что ПКС – это магистральное направление развития компьютерных сетей и «через 15 лет все будут работать на ПКС. Вопрос в том, кто будет первым» [1].

Последние 2-3 года IT-сообщество активно обсуждает возможности, варианты реализации еще одной новой, зарождающейся технологии – технологии виртуализации сетевых функций (ВСФ, Network Functions Virtualization – NFV). Этой технологии, как и ПКС, отводится решающая роль в последующем развитии компьютерных сетей. Особенно подчеркивается роль технологии ВСФ в вопросах уменьшения времени развертывания компьютерных сетей и «озеленении» (или «экологизации») сети Интернет. То есть имеется в виду, что сетевые технологии потребляют слишком много энергии и будущая архитектура компьютерных сетей должна быть более энергоэффективной. Интернет занимает 2% мирового потребления электроэнергии, что эквивалентно мощности работы 30-ти атомных электростанций – 30 млрд. Вт. [2, 3].

Наибольший положительный эффект при построении сетей будет достигаться при совместном применении обеих технологий, причем технология ПКС является «ведущей», базовой по отношению к ВСФ, т.к. последняя должна внедряться в архитектуру ПКС.

Технологии ПКС и ВСФ являются новыми, революционными по ожидаемой эффективности сетевыми технологиями, разработкой которых с 2007 года активно занимаются и многие ведущие IT-компании, и все увеличивающееся количество стартапов, в основном американских. Наиболее успешными стартапами являются: Nicira Networks (первый успешный коммерческий проект), Big Switch Networks, Vyatta, Pluribus Networks, Plexxi, LineRate Systems, Contrail Systems [4]. В 2011 году альянс компаний Deutsche Telekom, Facebook, Google, Microsoft, Verizon и Yahoo образовали общественную организацию Open Networking Foundation (ONF), нацеленную на продвижение и стандартизацию ПКС и координирующую развитие открытого сетевого протокола OpenFlow. Сейчас в состав ONF уже входит более 40 крупнейших IT-компаний мира. В Российской Федерации также создан единый координирующий орган для исследования ПКС-сетей, который является и площадкой для возникновения стартапов по этому направлению. Это Центр прикладных исследований компьютерных сетей (ЦПИКС), являющийся резидентом IT-кластера инновационного Фонда «Сколково» [5]. Понимая все преимущества ПКС технологии, компании Google и Microsoft недавно внедрились в свои центры обработки данных [6, 7].

### **Предпосылки возникновения и содержание технологии ПКС**

Потребность в новой сетевой парадигме возникла по следующим причинам:

- *Изменение моделей перемещения трафика.* В обычных клиент-серверных приложениях, когда один клиент связывается с одним сервером, модель перемещения трафика можно определить как «север-юг». В современных же центрах обработки данных запрос от клиента формирует многочисленные «горизонтальные» перемещения информации между компьютерами, пока не будет сформирован ответ и передан клиенту. Такую модель перемещения трафика можно определить как «восток-запад». Выполнение запросов в последнем случае осложняется еще и тем, что они могут выполняться с многих типов устройств, включая мобильные и свои персональные, из любого места и в любое время. То есть возникают проблемы согласования запросов с мобильных персональных устройств с необходимостью сохранения корпоративных данных и интеллектуальной собственности.

- *Рост облачных услуг.* Сейчас происходит беспрецедентный рост облачных услуг – публичных и частных. Пользователи хотят иметь к ним быстрый доступ – «доступ по запросу» (on-demand). Проблема осложняется тем, что при планировании облач-

ных услуг необходимо учитывать все возрастающие требования по безопасности, совместимости, аудиту, а также динамику развития бизнеса: постоянные реорганизации, слияния и разъединения предприятий.

▪ *Огромные объемы информации требуют постоянного роста полосы пропускания каналов.* Управление «мегамассивами» данных требует параллельной обработки на сотнях серверов, напрямую соединенных друг с другом. Поэтому в центрах обработки данных имеется постоянная потребность в повышении пропускной способности каналов связи, вызванная необходимостью быстрого масштабирования сети по мере роста количества обрабатываемой информации.

Ограничения существующих сетевых технологий:

▪ *Сложность сетей, ведущая к их статичности.* Существующие сетевые технологии основаны на наборе сетевых протоколов, обеспечивающих надежное соединение хостов в сети с требуемой скоростью соединения с учетом конкретной сетевой топологии. В соответствии с запросами бизнеса, для улучшения тех или иных характеристик сети, количество сетевых протоколов постоянно растет. Каждый из них предназначен для решения какой-то определенной задачи, вводится независимо от других, вне рамок какой-либо общей архитектурной идеи. Все это вызвало главное ограничение, недостаток существующих сетевых технологий – сложность. Например, чтобы добавить или переместить какое-либо сетевое устройство, сетевой инженер должен затронуть множество коммутаторов, маршрутизаторов, брендмауэров, серверов аутентификации и пр. Он должен будет обновить списки доступа ACL, настройки VLAN, качества обслуживания QoS и т.д. При этом необходимо учитывать конкретную топологию сети, особенности конкретных моделей устройств, версии программного обеспечения. В связи с указанными обстоятельствами современные сети довольно статичны, т.к. сетевой инженер стремится минимизировать риск нарушения предоставляемых услуг своими действиями и старается свести к минимуму перенастройки сети.

Статическая природа существующих сетей резко отличается от динамической природы серверного оборудования, основанной на серверной виртуализации. До момента использования технологий серверных виртуализаций приложения располагались на отдельном сервере и обменивались трафиком с обслуживаемыми клиентами. Сегодня приложения распределены среди многих виртуальных машин (VM), которые обмениваются между собой трафиком. VM мигрируют, перенастраиваются для оптимизации и балансировки нагрузки серверов, что вызывает необходимость быстрого изменения характеристик проходящих потоков и конечных узлов. Миграция VM ставит много вопросов перед существующими сетевыми технологиями, начиная с адресных схем и заканчивая базовыми вопросами сегментирования сетей и организации маршрутизации.

В дополнение к необходимости адаптации к технологиям серверных виртуализаций необходимо учитывать и конвергенцию существующих IP сетей, которые теперь передают и голос, и данные, и видео. Настройка сети для подобных приложений осуществляется присвоением различных уровней качества обслуживания (QoS) приложениям. Проблема заключается в том, что эта работа в значительной степени выполняется вручную. Сетевой инженер должен отдельно настроить каждое сетевое оборудование и настроить в QoS, например, пропускную способность для каждой сессии и каждого приложения. По причине своей статичной природы существующие сети не могут динамически адаптироваться к изменениям трафика, сменам приложений, пользовательским запросам.

▪ *Несовершенство внедрения сетевых политик.* Для внедрения политики, охватывающей всю сеть, сетевой инженер должен конфигурировать множество устройств и сетевых механизмов. Например, каждый раз, когда подключается новая виртуальная машина, требуются часы или даже дни для переконфигурирования имеющихся спи-

сков доступа ACL. То есть в существующих сетях нет эффективного механизма внедрения сетевых политик, связанных с организацией подключений к сети и сетевой безопасностью.

▪ *Проблемы масштабирования.* По мере роста центров обработки данных должна расти обслуживающая их сетевая инфраструктура, включающая все большее и большее количество сетевых устройств. Это сложная задача с учетом того, что эти устройства необходимо конфигурировать и ими необходимо управлять. Задача тем более усложняется, что модели перемещения трафика в таких системах очень динамично меняются и мало предсказуемы. Многие современные мега-операторы: Google, Facebook, в определенной степени и российский Яндекс – нуждаются в так называемых «гипермасштабируемых» сетях, которые могут обеспечить высокоскоростные, экономичные по стоимости соединения между сотнями, тысячами, а в перспективе и миллионами физических серверов. Такое масштабирование не может осуществляться ручным конфигурированием сетевых устройств. Работы по масштабированию на существующих сетях значительно увеличивают размеры капитальных вложений, операционные расходы, а также требуют значительного времени для выполнения.

Указанные несоответствия между требованиями рынка и возможностями существующих сетевых архитектур привели к архитектуре программно-конфигурируемых сетей и необходимости разработки связанных с ней стандартов.

*Программно-конфигурируемая сеть* – это сеть, у которой управление сетью отделено от сетевых устройств, обеспечивающих продвижение информации в сети, и непосредственно, напрямую программируется. Такое перемещение управления, ранее жестко привязанного к конкретным сетевым устройствам, в доступное вычислительное устройство, позволяет приложениям и сетевым сервисам абстрагироваться от нижележащего физического оборудования и рассматривать сеть как некую логическую и виртуальную сущность [8]. На рисунке 1 изображена логическая структура архитектуры ПКС, предлагаемая ONF и реализуемая на базе интерфейса OpenFlow.

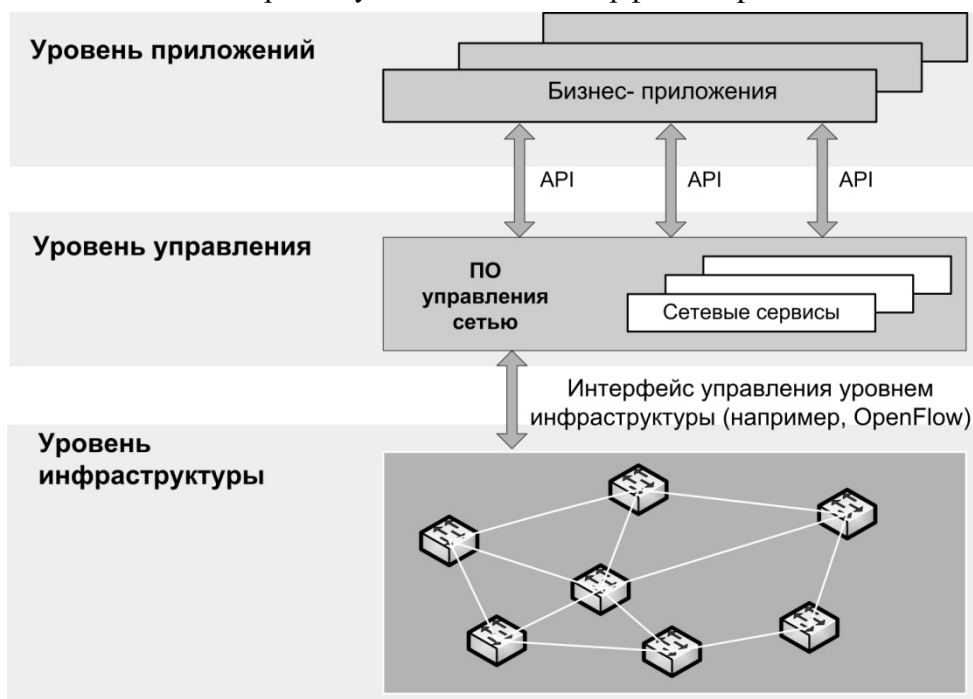


Рис. 1. Логическая структура архитектуры ПКС

Архитектура ПКС включает в себя три уровня, доступ к которым осуществляется через открытые API (т.е. это должны быть открытые стандарты):

- *Уровень приложений*, состоящий из бизнес-приложений конечных пользова-

телей. Его взаимодействие с нижележащим уровнем осуществляется через API северной границы (northbound API). Используя указанные API, можно реализовать весь набор сетевых сервисов: маршрутизацию, широковещательные рассылки, безопасность, списки доступа, управление полосой пропускания, инжиниринг трафика, качество обслуживания, оптимизацию работы процессора и памяти, оптимизацию используемой энергии, все формы управления сетевыми политиками, специальные настройки для бизнеса. После создания API для управления оборудованием разных производителей появляется возможность получения ресурсов «по запросу» (on-demand), самих себя обеспечивать сервисом (self-service provisioning), работать в полностью виртуальной сети, успешно защищать облачные сервисы. В конечном счете, будут созданы системы автоматизации, которые позволяют эффективно управлять всей сетью в режиме реального времени.

- *Уровень управления* осуществляет логически централизованное управление, которое обеспечивает продвижение трафика на инфраструктурном уровне с помощью открытого интерфейса OpenFlow, называемого также интерфейсом южной границы (southbound interface). Уровень управления постоянно «видит» всю сеть и способен управлять всеми сетевыми устройствами. Поэтому приложениям и сетевым политикам сеть представляется как единый логический коммутатор. Указанное обстоятельство чрезвычайно упрощает создание, управление и обслуживание сети. Также чрезвычайно упрощаются и сами сетевые устройства, которым больше не нужно обрабатывать информацию в соответствии с сотнями сетевых протоколов, а нужно всего лишь получать и исполнять команды от ПКС-контроллеров с уровня управления.

- *Уровень инфраструктуры* состоит из сетевых устройств, которые обеспечивают продвижение пакетов данных. На рисунке 2 показана схема продвижения пакетов между сетевыми устройствами, управляемыми ПКС-контроллером через интерфейс OpenFlow.

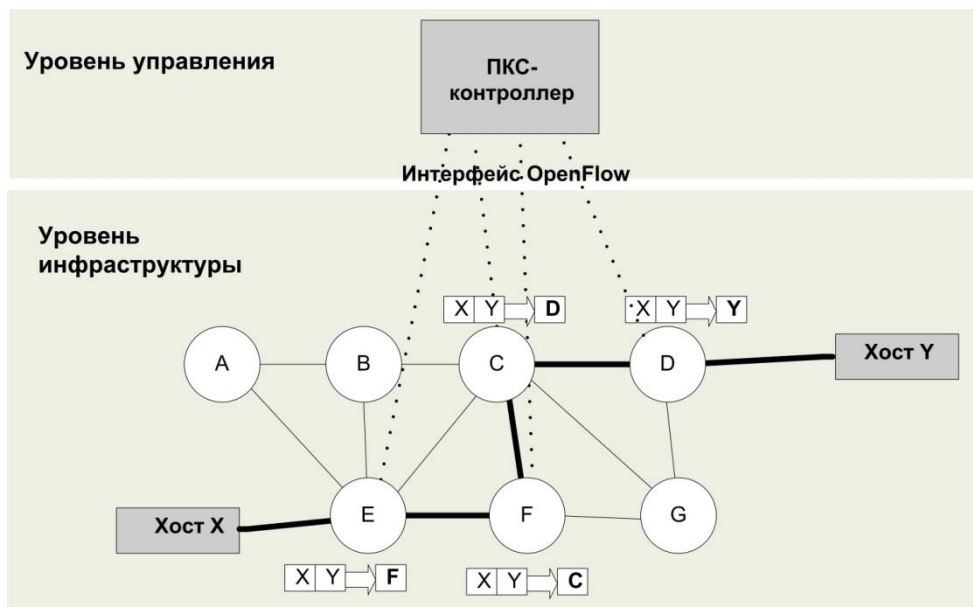


Рис. 2. Схема продвижения пакетов между сетевыми устройствами под управлением ПКС-контроллера

### Интерфейс OpenFlow

OpenFlow является первым и пока единственным стандартизованным интерфейсом, определяющим правила взаимодействия между уровнями управления и инфраструктуры. Можно сказать, что OpenFlow – это протокол нижнего уровня для программирования коммутаторов. Он позволяет получить доступ к сетевым устройствам и

управлять продвижением проходящих через них данных посредством специфицированного набора базовых примитивов, наподобие того, как процессор компьютера выполняет команды в соответствии со своей таблицей команд. Протокол OpenFlow должен быть внедрен по обеим сторонам интерфейса между уровнями управления и инфраструктурой. Он работает на базе концепции потоков. Каждая запись в таблице потоков содержит набор полей, которые должны совпасть, а также действие, которое необходимо выполнить с пакетом при совпадении (переправить на выходной порт, модифицировать указанное поле, отбросить). В случае, когда OpenFlow-коммутатор получает пакет, для которого нет записи в таблице потоков, он отсылает его контроллеру с помощью сообщения специального вида – «packet\_in message». Далее контроллер принимает решение о том, что делать с полученным пакетом. Он может его отбросить, отправить на выходной порт посредством сообщения «packet\_out message» или отправить коммутатору команду – добавить запись в таблицу потоков, содержащую инструкцию, что делать в будущем с подобными потоками. Поскольку с помощью OpenFlow можно устанавливать правила для каждого потока и для любого порта любого сетевого устройства, то это позволяет приложениям осуществлять в высшей степени дифференцированное, «гранулированное» и оперативное управление сетью.

Интерес со стороны производителей к стандарту OpenFlow огромный. Например, компании Cisco и Juniper добавили опциональную поддержку OpenFlow к своим коммутаторам. Ряд производителей уже предлагают коммутаторы, которые реализуют только протокол OpenFlow, а традиционные протоколы не поддерживают: NEC, Pronto, Marvell.

Последней версией протокола OpenFlow является версия OpenFlow Version 1.3.4 от 27.03.2014 г. [9].

### **Технология виртуализации сетевых функций**

В конце 2012 года более двадцати ведущих мировых телекоммуникационных компаний сформировали в рамках Европейского института телекоммуникационных стандартов (ETSI) группу по разработке промышленных стандартов (ISG). Конкретной задачей ISG является разработка технологии виртуализации сетевых функций (ВСФ, Network Functions Virtualization – NFV). Интерес к этой теме в IT-сообществе очень высок, и со стороны бизнеса число заинтересованных компаний постоянно увеличивается [10, 11].

Виртуализация IT-ресурса (сервера, операционной системы, устройства хранения данных, сетевого сервиса) означает создание виртуальной версии устройства, которого не существует на самом деле, но пользователю кажется реально существующим. Знакомым всем примером является разбиение жесткого диска на логические диски. Другой пример – виртуализация операционных систем, т.е. запуск на отдельном хосте как бы нескольких других компьютеров, каждая из которых работает под своей операционной системой. Программное обеспечение, которое создает такое виртуальное окружение на хосте, называется гипервизором. Виртуализация сетевых функций (ВСФ) заключается в переносе специализированных функций, типа анализаторов трафика, брендмаэров, DNS, балансировщиков нагрузки, реализуемых на специализированном сетевом оборудовании класса middlebox, которое является очень дорогими, на современное серверное оборудование. Современные серверы, создаваемые на многоядерных процессорах, обладают высокой производительностью; современные каналы связи также обладают высокой пропускной способностью, что вкуче позволяет эффективно выполнять указанные сетевые функции. Бизнес очень заинтересован в широкомасштабном внедрении технологии ВСФ, т.к. при этом существенно снижаются капитальные и операционные затраты, снижается потребление электроэнергии, уменьшается время на развертывание

сетей. Создание рассмотренных выше ПКС-сетей преследует похожие цели. Различия заключаются в том, что технология ВСФ предназначена для оптимальной реализации (с помощью виртуализации) указанных сетевых функций, а технология ПКС, представляющая базовую концепцию создания сетей нового типа, в первую очередь занимается оптимизацией продвижения пакетов. Место технологии ВСФ в структуре ПКС показано на рисунке 3.

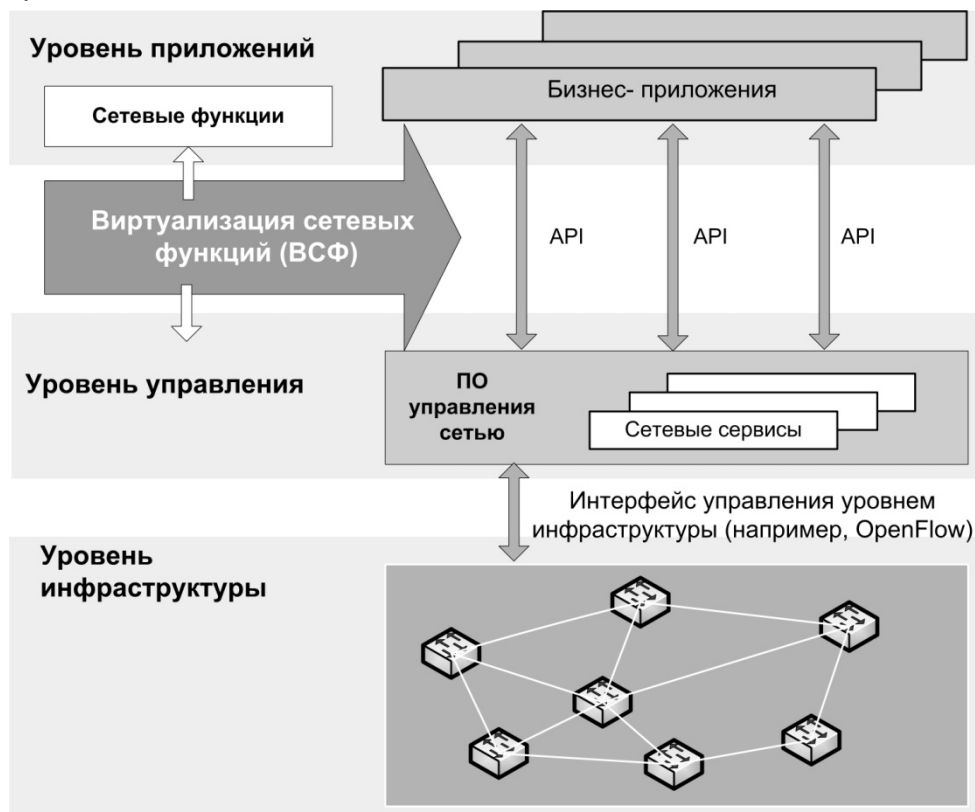


Рис. 3. Виртуализация сетевых функций в структуре ПКС

### Заключение

Облачные технологии, «большие данные» (Big Data) и ПКС – три технологии, которые сегодня считаются IT-индустрией самыми прорывными и перспективными. Если про облачные технологии и «большие данные» в российском IT-сообществе немало сказано за последние годы, то про технологию ПКС информации немного. В мире эта технология широко обсуждается и из разряда инноваций постепенно переходит в ранг практически используемой, промышленной технологии, но дискуссия о способах ее конкретной реализации еще далека от завершения. Интенсивно продолжаются исследовательские работы, что позволит получить в недалекой перспективе набор стандартов, связанных с ПКС.

К настоящему моменту, постепенно завоевывая мировой IT-рынок, технология ПКС дошла и до России. Те разработчики и программисты, которые уже на начальном этапе, пока технология не подверглась стандартизации, ею займутся, будут пользоваться самым большим спросом на рынке труда в IT-секторе. А те компании, которые уже сейчас обратили внимание своих сотрудников на технологию, окажутся самыми дальновидными. Россия имеет много хороших программистов, которых уже оценили во всем мире. А в ПКС-технологии акценты как раз смещаются с аппаратного уровня, где позиции России слабы, на программный уровень, что открывает новые возможности для российских разработчиков. То есть и Россия может повлиять на то, как будут развиваться компьютерные сети в ближайшем будущем.

**Примечания:**

1. Центр прикладных исследований компьютерных сетей. URL: <http://arccn.ru/media/127>
2. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.6wind.com/software-defined-networking/sdn-nfv-primer/>
3. Тенденции развития компьютерных сетей и Интернета / Центр прикладных исследований компьютерных сетей. URL: <http://arccn.ru/media/572>
4. Верижникова Е. Технология SDN – стартап-машина будущего. URL: <http://firm.ru/data/articles/1739/>
5. Центр прикладных исследований компьютерных сетей. URL: <http://arccn.ru/about/>
6. Jain S., Kumar A., Mandal S. B4: experience with a globally-deployed software defined wan. In proceedings of ACM SIGCOMM conference, ACM, 2013.
7. Hong C., Kandula S., Mahajan R. Achieving high utilization with software-driven WAN. In proceedings of ACM SIGCOMM conference, ACM, 2013.
8. ONF White Paper. Software-Defined Networking: The New Norm for Networks. URL: <https://www.opennetworking.org/sdn-resources/sdn-library/whitepapers/> / April, 13, 2012.
9. ONF White Paper. OpenFlow Switch Specification. URL: <https://www.opennetworking.org/images/stories/downloads/sdn-resources/onf-specifications/openflow/openflow-spec-v1.3.4.pdf> / March, 27, 2014.
10. Network Functions Virtualisation: An Introduction, Benefits, Enablers, Challenges & Call for Action. URL: [http://portal.etsi.org/NFV/NFV\\_White\\_Paper.pdf](http://portal.etsi.org/NFV/NFV_White_Paper.pdf) / October, 2012.
11. Network Functions Virtualisation (NFV): Network Operator Perspectives on Progress. URL: [http://portal.etsi.org/NFV/NFV\\_White\\_Paper2.pdf](http://portal.etsi.org/NFV/NFV_White_Paper2.pdf) / October, 2013.

**References:**

1. Applied research center for computer networks URL: <http://arccn.ru/media/127>
2. [Electronic resource]. URL: <http://www.6wind.com/software-defined-networking/sdn-nfv-primer/>
3. Progress trends of computer networks and the Internet / Applied research center for computer networks. URL: <http://arccn.ru/media/572>
4. Verizhnikova E. Technology of SDN-startup is the machine of the future. URL: <http://firm.ru/data/articles/1739/>
5. Applied research center for computer networks. URL: <http://arccn.ru/about/>
6. Jain S., Kumar A., Mandal S. B4: experience with a globally-deployed software defined wan. In proceedings of ACM SIGCOMM conference, ACM, 2013.
7. Hong C., Kandula S., Mahajan R. Achieving high utilization with software-driven WAN. In proceedings of ACM SIGCOMM conference, ACM, 2013.
8. ONF White Paper. Software-Defined Networking: The New Norm for Networks. URL: <https://www.opennetworking.org/sdn-resources/sdn-library/whitepapers/> / April, 13, 2012.
9. ONF White Paper. OpenFlow Switch Specification. URL: <https://www.opennetworking.org/images/stories/downloads/sdn-resources/onf-specifications/openflow/openflow-spec-v1.3.4.pdf> / March, 27, 2014.
10. Network Functions Virtualisation: An Introduction, Benefits, Enablers, Challenges & Call for Action. URL: [http://portal.etsi.org/NFV/NFV\\_White\\_Paper.pdf](http://portal.etsi.org/NFV/NFV_White_Paper.pdf) / October, 2012.
11. Network Functions Virtualisation (NFV): Network Operator Perspectives on Progress. URL: [http://portal.etsi.org/NFV/NFV\\_White\\_Paper2.pdf](http://portal.etsi.org/NFV/NFV_White_Paper2.pdf) / October, 2013.