



Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова  
Факультет вычислительной математики и кибернетики  
Кафедра автоматизации систем вычислительных комплексов

Романов Андрей Романович

**Разработка системы обеспечения надежного и  
масштабируемого виртуального сетевого сервиса в  
облачной среде**

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**

**Научный руководитель:**  
к.ф.-м.н.  
В.А. Антоненко

Москва, 2016

# Аннотация

В данной работе рассматриваются проблемы организации надежной работы и масштабируемости виртуального сетевого сервиса (Virtual Network Service, VNS). Рассмотрены существующие решения организации работы виртуальных сетевых функций (Virtual Network Function, VNF).

В рамках выпускной квалификационной работы разработан программный комплекс, позволяющий в автоматическом режиме обеспечивать отказоустойчивость и масштабируемость виртуальных сетевых функций в облаке.

# Оглавление

<b>Введение</b>	<b>4</b>
<b>1 Концепция NFV</b>	<b>7</b>
1.1 Общее описание . . . . .	7
1.2 Архитектура ETSI NFV MANO . . . . .	8
1.2.1 Менеджер виртуальной инфраструктуры . . . . .	10
1.2.2 Менеджер виртуальных сетевых функций . . . . .	11
1.2.3 Оркестратор виртуальных сетевых сервисов . . . . .	13
1.2.4 Прочие модули . . . . .	14
1.3 Open Platform for NFV . . . . .	14

# Введение

В современных сетях функционирует огромное количество сервисов: маршрутизация (routing), трансляция сетевых адресов (NAT), сетевой экран (firewall), туннелирование (VPN), прокси-сервер и т.д.. Многие из них реализованы в одном устройстве. Для эффективной работы сервисов нагрузку распределяют сразу на несколько таких устройств. При необходимости в новой функции требуется купить новое оборудование, которое будет обладать прочими ненужными функциями. При высокой нагрузке, устройство не будет справляться со своими задачами, а значит придется купить еще одно. В случае недостаточной нагрузки устройства будут простаивать. Здесь возникает проблема динамической масштабируемости сервиса в зависимости от его загрузки. Известно, что при наличии нескольких схожих по функциональности устройств от разных производителей, могут возникать конфликты в их работе. Таким образом, одним из решений является приобретение оборудования только от одного вендора. Со временем производитель отказывается поддерживать устаревшее оборудование. И в этом случае остается крайний вариант - приобретение новых устройств взамен устаревших.

Таким образом можно выделить ключевые проблемы организации работы сетевого сервиса:

- приобретение оборудования с избыточной функциональностью;
- требуется рассчитывать производительность сервиса исходя из макси-

мальной возможной нагрузки;

- простаивание оборудования в случае, если нагрузка не является пиковой;
- зависимость от производителя оборудования (тех. обслуживание, устаревание оборудования, невозможность модифицировать сервис без вмешательства производителя);

Концепция виртуальных сетевых функций (Network Function Virtualization, NFV) — это молодая технология, позволяющая виртуализировать некоторые программные сервисы, которые на данный момент реализованы лишь на физических устройствах. NFV обладает такими качествами, как:

- масштабируемость - в зависимости от загруженности сервиса будет работать тот объем инфраструктуры, который необходим для надежной работы;
- надежность - в случае сбоев в работе сервиса будут предприниматься действия по восстановлению его работы в автоматическом режиме;
- гибкость - виртуализация позволяет быстро развертывать сервисы на новой инфраструктуре;
- безопасность - данные клиентов защищены, так как программные сервисы работают изолированно друг от друга.

Организация ETSI разработала высокоуровневую архитектуру ETSI NFV Management and Orchestration (ETSI NFV MANO). Главной особенностью архитектуры является оптимальное использование инфраструктуры: она выделяется для каждой функции по запросу в необходимом количестве. Базовыми блоками, из которых строятся виртуальные сетевые сервисы, являются

виртуальные сетевые функции (VNF). Платформа на базе ETSI NFV MANO умеет размещать VNF на подконтрольной инфраструктуре. В результате комбинирования блоков VNF получаются виртуальные сетевые сервисы (VNS), которыми и пользуются клиенты платформы.

# 1 Концепция NFV

## 1.1 Общее описание

В 2004 году была предложена идея организации сетевой инфраструктуры с целью снижения затрат и ускорения внедрения новых услуг. Она состояла в объединении ядра сети и сети доступа в единую платформу. Однако без виртуализации идея не получила широкого распространения.[4].

NFV предполагает использование виртуализированной инфраструктуры для функционирования услуг. Концепция предлагает использование технологий для виртуализации функций в виде составных элементов, которые могут быть связаны для создания телекоммуникационных сервисов.

Таким образом, виртуальная сетевая функция (VNF) — это описание требуемой инфраструктуры, требуемого программного обеспечения, параметров подключения пользователей к этой услуге и т.д.. Заметим, что программное обеспечение, описанное в VNF должно иметь ограниченную и законченную функциональность. Не следует виртуализировать сложное программное обеспечение, так как оно будет использовать дополнительные ресурсы инфраструктуры.

Виртуальный сетевой сервис (VNS) - это некоторое множество связанных между собой виртуальных сетевых функций. Это конечная услуга, которая будет предоставляться клиентам. Концепция предполагает внутреннее пред-

ставление VNS как произвольное непустое множество, состоящее из VNF. При этом VNF как-то связаны друг с другом.

По мнению автора, наиболее интересен случай цепочек виртуальных сетевых функций (VNF chaining). В этом случае можно считать каждую VNS как цепочку сетевых функций. Близкую аналогию можно провести с математическим понятием функции. Пусть 'x' - это входящий трафик некоторого объема. Тогда результатом работы сервиса S, состоящего из последовательной цепочки функций f1, f2, f3 будет трафик y, такой что:

$$y = f3(f2(f1(x))) = S(x)$$

В результате трафик 'x' трансформировался в трафик 'y'. S - это суперпозиция функций f1, f2, f3.

## 1.2 Архитектура ETSI NFV MANO

Европейский Институт Телекоммуникационных Стандартов (ETSI) в 2013 году опубликовал высокоуровневые рекомендации по разработке платформы, управляющей виртуальными сетевыми сервисами Network Function Virtualization Management and Orchestration (NFV MANO). Основные цели документы - стандартизировать интерфейсы каждого модуля в платформе.[2] Как показано на Рис. 1.1, в NFV MANO имеется 3 основных модуля:

1. менеджер виртуальной инфраструктуры (Virtualized Infrastructure Manager, VIM)
2. менеджер виртуальных сетевых функций (Virtual Network Function Manager, VNFM)
3. оркестратор виртуальных сетевых сервисов (Network Function Virtualization, NFVO)



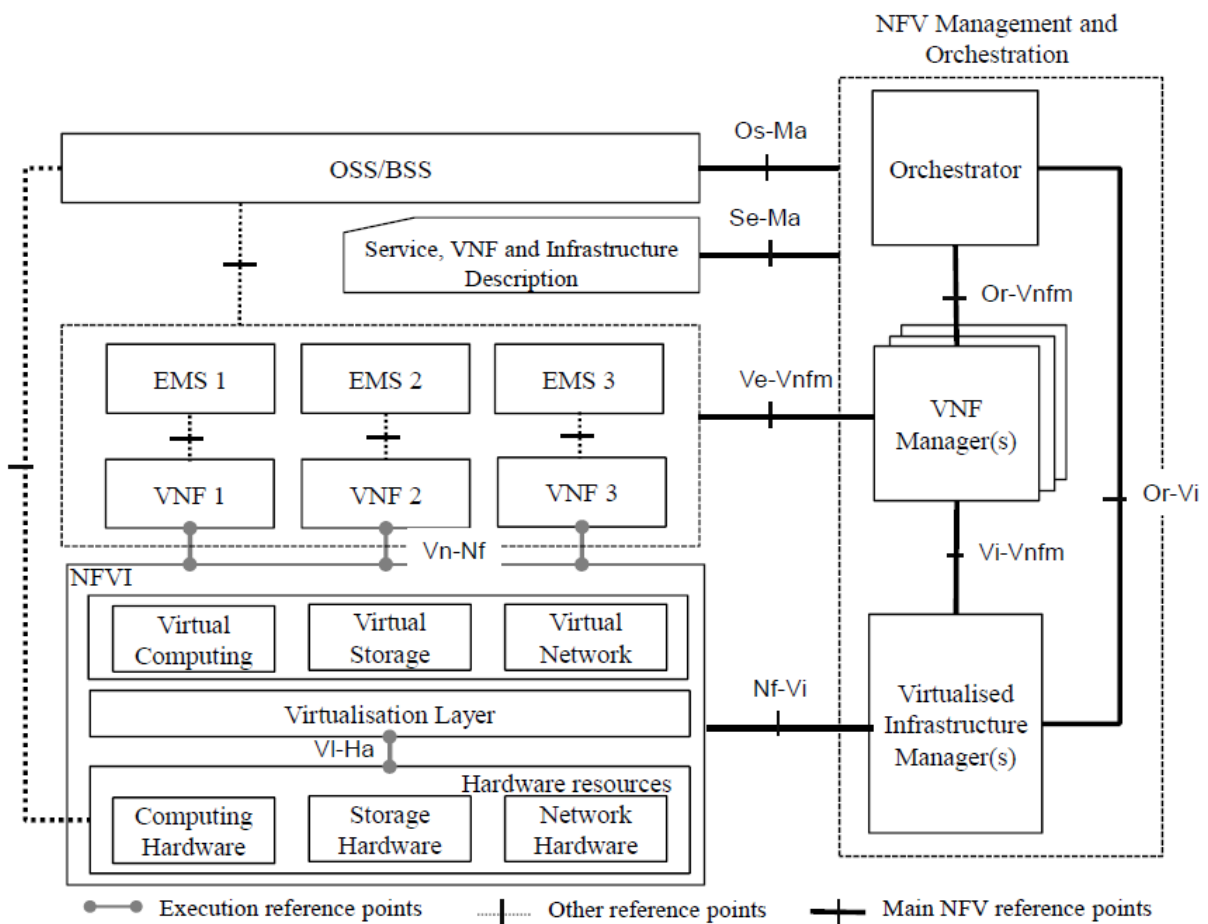


Рис. 1.1: Архитектура NFV Management and Orchestration

Каждый модуль обеспечивает свой слой виртуализации. VIM занимается виртуализацией физических ресурсов. Менеджер функций предоставляет набор функций, размещенных на виртуальных ресурсах. Оркестратор управляет сетевыми сервисами, построенными на базе виртуальных сетевых функций.

Так же в архитектуре присутствуют неосновные модули:

- описание виртуальных сетевых сервисов, функций и используемой ими инфраструктуры. В NFV MANO блоки, которые содержат такие описания, называют каталогами (catalog). В платформах, разрабатываемых на базе NFV MANO, обычно функции каталогов выполняет менеджеры соответствующего уровня (оркестратор сервисов, менеджер функций,

VIM);

- система управления элементами (Element Management System, EMS). Система управляет работой элементов экземпляра виртуальной сетевой функции, отвечает за параметры функции. Данная система взаимодействует с менеджером функций через закрытые интерфейсы. Поэтому в существующих решениях, известных автору, данный модуль включен в состав менеджера функций.

Далее рассмотрим подробнее основные модули NFV MANO.

### 1.2.1 Менеджер виртуальной инфраструктуры

Менеджер инфраструктуры обеспечивает виртуализацию физической инфраструктуры в рамках одного домена. NFV MANO предполагает использование нескольких менеджеров инфраструктуры в одном домене. В задачи модуля входит:

- управление полным жизненным циклом виртуальных ресурсов в рамках одного домена
  - управление вычислительными ресурсами (computing resource) и хранилищами (storage);
  - управление сетевыми ресурсами (networking resource), то есть управление коммутаторами, роутерами, сетевая настройка;
  - остальные задачи гипервизора (абстракция физической инфраструктуры, эффективное отображение ресурсов на их виртуальные аналоги и т.д.);
- иметь полную информацию о доступных физических ресурсах и о запущенной виртуальной инфраструктуре;

- мониторинг за состоянием виртуальных ресурсов, обнаружение отказов оборудования, виртуальных машин, программного обеспечения;
- оповещать остальные модули о смене состояния виртуальной инфраструктуры;
- предоставление интерфейса для использования виртуальной инфраструктуры и для мониторинга физической инфраструктуры.

Подробнее о функциях VIM, и его спецификациях можно прочитать в стандарте [1].

### 1.2.2 Менеджер виртуальных сетевых функций

Менеджер виртуальных сетевых функций (VNFM) — это основной модуль архитектуры NFV MANO, ответственный за полный жизненный цикл виртуальных сетевых функций. Архитектура предполагает возможность наличие нескольких менеджеров функций. Однако на момент написания работы остается неясным, необходимо ли наличие нескольких модулей.

В NFV MANO следует отличать два понятия: описание виртуальной сетевой функции (VNF description) и экземпляр виртуальной сетевой функции (VNF instance). Когда говорят про сетевую функцию, чаще всего имеют ввиду ее спецификации, то есть ее описание. Экземпляр VNF - это виртуальная инфраструктура, которая уже размещена поверх физической, и полностью удовлетворяют своему описанию (спецификациям). Таким образом, для каждой VNF существует единственное описание и множество ее экземпляров. Все экземпляры функции независимы друг от друга. В общем случае, они могут быть размещены в разных доменах (в разных VIM).

В задачи модуля входит:

- регистрация и удаление VNF(в случае, если менеджер функций управляет сразу несколькими функциями);
- владение полной информации о всех спецификациях функции
  - топология инфраструктуры, которую необходимо разместить для работы функции;
  - входные параметры функции (TODO: привести пример);
  - исчерпывающая информация о программном обеспечении виртуальных машин;
  - описание событий, по которым можно судить о состоянии функции (например, в ситуации, когда инфраструктура экземпляра функции недоступна, можно считать, что функция не работает)
  - описание триггеров на вышеуказанные события (перезапустить виртуальную машину в случае, если она не отвечает на команду ping в течении 5 секунд)
- управление жизненным циклом виртуальной функции
- отслеживание неисправностей в работе программного обеспечения функции;
- реагировать на неисправности в работе VNF в соответствии с ее описанием (применить горизонтальное масштабирование в ответ на событие о недостатке производительности виртуальной машины);
- после размещения виртуальной инфраструктуры инициализировать ее, установить и настроить все необходимое для работы функции программного обеспечения;

- обновление программного обеспечения уже размещенных виртуальных функций;
- оповещать остальные модули о событиях, связанных с работой VNF;

Более подробную спецификацию менеджера виртуальных функций можно прочитать в стандарте [1].

### 1.2.3 Оркестратор виртуальных сетевых сервисов

Оркестратор сетевых сервисов решает две основные задачи:

- оркестрация ресурсов между несколькими менеджерами инфраструктуры, резервация ресурсов;
- управление жизненным циклом виртуальных сетевых сервисов;

Задача управления виртуальными сервисами нетривиальна. Она включает в себя множество подзадач:

- предоставление интерфейса создания, удаления, изменения, обновления VNS;
- авторизация для управления сетевыми сервисами, разграничение прав доступа;
- синхронизация работы с менеджерами функций;
- отслеживание неисправностей в работе сервисов;
- реакция на события, связанные с изменением состояния сервиса;
- оповещение остальных модулей об изменении состояния сервисов;

- резервация ресурсов под сервисы с помощью модуля VIM;

Подробный стандарт архитектуры NFV оркестратора находится в разработке. Более подробную спецификацию менеджера виртуальных сетевых сервисов можно прочитать в более высокоуровневом стандарте [1].

## 1.2.4 Прочие модули

# 1.3 Open Platform for NFV

Open Platform for NFV (OPNFV) - это платформа с открытым исходным кодом, на базе которой можно создавать компоненты идеологии NFV. Проект OPNFV, используя архитектуру ETSI NFV MANO, фокусируется на NFV Infrastructure (NFVI) и Virtualized Infrastructure Manager (VIM).[6]

Основные цели проекта: Разработка интегрированной и протестированной открытой платформы, которая сможет быть использована для построения NFV, ускорения внедрения новых продуктов и сервисов; Привлечение заинтересованных лиц со стороны конечных заказчиков для удовлетворения требований пользовательского сообщества; Участие в смежных открытых проектах, которые могут быть использованы в OPNFV, обеспечить целостность, производительность и функциональную совместимость компонентов. В данный момент, OPNFV активно взаимодействует с OpenStack, KVM, Open vSwitch, OpenDyalight, ONOS, Open Contrail, ETSI, IETF. Создать экосистему NFV решений, основанную на открытых стандартах и программном обеспечении, удовлетворяющую требованиям конечных пользователей; Продвигать OPNFV как предпочтительную платформу и сообщество для создания NFV решений с открытым кодом. На данный момент в сообществе состоят более 60 компаний, начиная с производителей оборудования и заканчивая поставщиками SDN и NFV решений. Первый релиз (Arno) состоялся в июня 2015 году и

### Таблица 1.1: Обзор существующих решений

какой-либо функциональности в себе не нес. Вторая версия проекта OPNFV (Brahmaputra) вышла 1 марта 2016 года. По словам сообщества, теперь платформа готова для проведения лабораторных тестов.[7] Однако обнаружить исходный код продукта так и не удалось.

Рис. 1.2: Высокоуровневая архитектура ETSI NFV MANO



# Литература

- 1 Network Functions Virtualisation (NFV); Management and Orchestration. URL:
- 2 ETSI NFV Management and Orchestration (MANO) простым языком. URL: <https://sdnblog.ru/etsi-nfv-mano-beginners-tutorial/> (дата обращения 01.04.2016)
- 3 Network Functions Virtualisation (NFV); use cases. URL: <http://www.etsi.org/technologies-clusters/technologies/nfv> (дата обращения 01.04.2016)
- 4 NFV для корпоративных сервисов - № 12, 2014. URL: <http://www.osp.ru/lan/2014/12/13044225> (дата обращения 01.04.2016)
- 5 NFV виртуализация сетевых функций. URL: <http://sci-article.ru/stat.php?i=1455156066> (дата обращения 01.04.2016)
- 6 Open Platform for NFV (OPNFV). URL: <https://www.opnfv.org> (дата обращения 01.04.2016)
- 7 Чем занимается сообщество OPNFV? URL: <https://sdnblog.ru/who-is-opnfv/> (01.04.2016)
- 8 Tacker. URL: <https://wiki.opfirewallenstack.org/wiki/Tacker> (01.04.2016)