

К.Л. ГОРЯЩЕНКО, О.В. ШЕВЧУК
Хмельницький національний університет

ВИКОРИСТАННЯ ПРОГРАМНО-КОНФІГУРОВАНИХ МЕРЕЖ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ МЕРЕЖ В СТАНДАРТІ TMN

Стандарт TMN розроблено для апаратного та програмного забезпечення реалізації функціонування механізму виявлення пошкоджень лінії. Усунення пошкоджень в мережі забезпечується за рахунок використання програмно-конфігурованих мереж.

Ключові слова: надійність лінії, TMN.

K.L. HORIASCHENKO, O.V. SHEVCHUK
Khmelnytskyi National University

THE USE OF SOFTWARE-DEFINED NETWORKS FOR PROVIDING HIGH RELIABILITY FOR TMN STANDARD

The standard of TMN is worked out for the vehicle and programmatic providing of realization of functioning of mechanism of exposure of damages of line. The removal of damages in a network is provided due to the use of the programmatic-configured networks. The article analyses the existing network architecture and identifies the shortcomings of the existing model. Based on the results of the analysis, a topical and up-to-date solution has been proposed – switching to software-defined networks. This network structure is described by the TMN standard. In the course of the study, the basic concepts of the SDN concept have been studied and described, which offer solutions to the problems of the existing Internet network architecture, which will allow to modernize the network, reduce the costs of development and operation, accelerate the introduction of new network services.

Keywords: reliability of line, TMN.

Актуальність теми. Підвищення якості функціонування мереж зв'язку за рахунок поліпшення надійності є складною науково-технічною і економічною проблемою. Це обумовлено тим, що до мереж з новими технологіями, таких як мережі (SDN), що програмно-конфігуруються, нині пред'являють високі вимоги щодо надійності (відмовостійкості) у тому числі до характеристик відновлення мережі після відмови. Під час розробки заходів, що підвищують надійність, доцільна постановка завдання максимально можливого підвищення якості функціонування мережі при мінімальному часі відновлення зв'язку.

Високий рівень відмовостійкості мережі забезпечується за рахунок швидкого виявлення uszkodжень і усунення їх наслідків за короткий час. Існуючі методи забезпечення надійності в мережах SDN можна підрозділити на два самостійні класи: захисне перемикання (резервування) і відновлення (перемаршрутизація). Звідси слідує, що для системного підходу до дослідження методів забезпечення надійності SDN доцільно використати засоби математичного моделювання. Дослідження механізмів забезпечення надійності SDN розглядається у ряді робіт як вітчизняних, так і зарубіжних. Проте в цих роботах не робиться порівняльний аналіз використання механізмів забезпечення відмовостійкості, а також комбінації цих механізмів. Так само у ряді робіт не враховуються економічні показники використання цих механізмів.

Існуюча архітектура мережі та її недоліки

У класичній мережевій архітектурі завдання побудови маршруту (control plane) і реалізація маршруту (data plane) об'єднані в мережевому пристрої маршрутизаторі. Площина управління (control plane) в маршрутизаторі обробляє пакет і приймає рішення, куди його передавати далі (операція routing). У площині передачі даних (data plane) вирішується проблема просування пакету від вхідного порту на певний вихідний (операція «forwarding»). Усі ці операції визначаються закладеними в маршрутизатор конкретними протоколами [1].

Існує безліч різних протоколів (близько 700), множина з цих протоколів бере участь у функціонуванні мережі, але при цьому кожен має різні цілі, виконує різні завдання, має свої достоїнства і недоліки [2]. До того ж на сьогодні будь-який протокол може мати декілька програмних реалізацій, приміром: один і той же протокол реалізований різними компаніями, має різні характеристики. На ефективність взаємодії пристроїв впливає логіка роботи протоколу, якість програмних рішень (реалізацій компаній), а також якість сукупності протоколів (стека або набору протоколів). Завдання передачі різного трафіку по мережі породжує проблеми, пов'язані з різними вимогами до якості обслуговування. Виникає особлива складність поєднання в одній мережі мультимедійного і традиційного трафіку [3].

Основною характеристикою телекомунікаційної мережі є її здатність обслуговувати трафік, що поступає, із заданою інтенсивністю при заданій якості інформаційного обміну. Усе зводиться до необхідності передачі інформації, представленої у вигляді різного трафіку, якнайшвидше, з високою надійністю і достовірністю. Останнє має на увазі мінімізацію помилок на стороні прийому, визначаючи тим

самим вимоги до устаткування і ПО. Враховуючи тенденцію до підвищення вимог користувача до швидкості передачі, об'єму і затримок, головним стає завдання підтримки необхідної якості, що може бути здійснено нарощуванням, модернізацією або розподілом мережевих ресурсів шляхом відповідного управління мережею [4].

У існуючій традиційній архітектурі є різні труднощі: статичне (ручне) виділення і перерозподіл мережевих ресурсів; окреме налаштування кожного мережевого пристрою; складність і ресурсоемність під час впровадження і зміни мережевих політик, конфігурацій, нових сервісів та іншого; багатовекторність і пропріетарність деяких функцій [5].

Програмно-конфігуровані мережі. Основні положення

Мережа (SDN – software-defined networking – програмно-визначувана мережа), що програмно-конфігурується, – мережа передачі даних, в якій рівень управління мережею відокремлений від облаштувань передачі даних і реалізується програмно [6]. Традиційна трирівнева архітектура (доступ - агрегація - ядро) і необхідність робити безліч дій під час обробки трафіку в кожному вузлі представляються надмірно надмірними для великих постачальників інтернет сервісів, які потребують високопродуктивної інфраструктури для організації взаємодії між безліччю серверів і велетенських ЦОД.

Концепція SDN передбачає:

- відокремити в маршрутизаторі управління мережевим устаткуванням від управління передачею даних; управління винести на окремий комп'ютер, який знаходитиметься під контролем адміністратора мережі;
- перейти від управління окремим екземпляром мережевого устаткування до управління мережею в цілому;
- створити інтелектуальний програмно-керований інтерфейс між мережевим застосуванням і транспортним середовищем (рис. 1) [7].

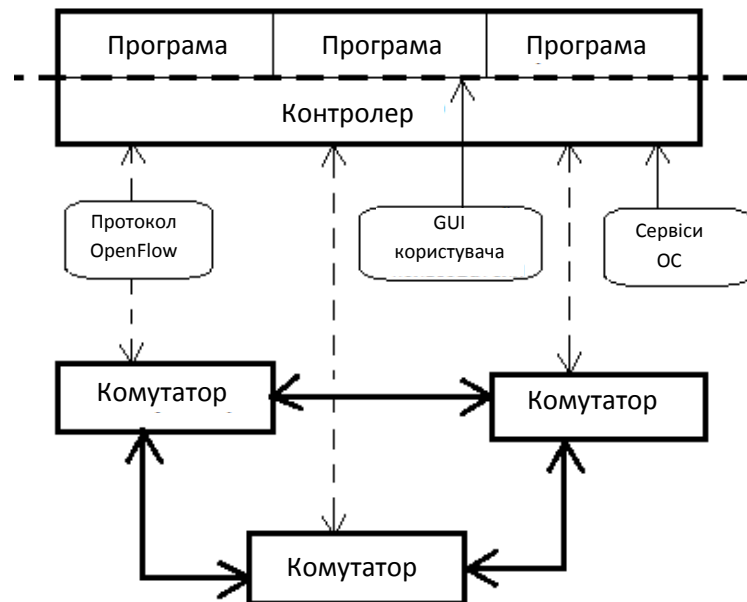


Рис. 1. Принцип реалізації концепції SDN

Таким чином, реалізація концепції SDN – розділення управління мережею (площини управління) і механізму просування даних (площини даних), перенесення функцій управління в окремі обчислювальні пристрої, звані SDN-контролерами, призводить до заміни традиційної розподіленої моделі маршрутизації централізованою моделлю, перетворюючи процес управління мережею, що включає створення маршрутів, в процес програмування мережі в цілому [8].

У теорії концепція мереж, що програмно-конфігуруються, має багато достоїнств:

- підвищується продуктивність (за рахунок прискорення переміщення трафіку);
- знижуються витрати на побудову і супровід мережі (за рахунок віртуалізації управління мережею);
- підвищується зручність управління, безпека і спрощується виконання ряду інших завдань (на централізованому контролері системний адміністратор може спостерігати усю мережу як єдине ціле);
- необмежені можливості до розширення і масштабованості залежно від поставлених завдань та ін. [9].

При практичному впровадженні SDN виникли деякі критичні зауваження від виробників мережевого устаткування, які стурбовані занадто радикальними змінами, які несе нова технологія. Це і значна вартість нового устаткування, і ризики, що виникають із-за недостатнього тестування нового устаткування, яке повинне впроваджуватися у клієнтів. На додаток до усього збільшаться витрати на перенавчання ІТ фахівців, яким доведеться працювати з новими мережами [10].

Але головною підозрою фахівців є те, що централізоване управління мережею, реалізоване в концепції SDN, є уразливістю цієї технології. У разі відсутності зв'язку між контролером SDN і комутаторами мережі, комутатори переходять в дефолтний стан і стають некерованими або зовсім перестають працювати (якщо які-небудь налаштування комутатора вимагали постійної роботи контролера). Тобто контролер ПКС є єдиною точкою відмови.

Щоб здолати вказаний недолік, необхідно враховувати різні механізми забезпечення відмовостійкості мережі.

Забезпечення надійності мереж

Забезпечення надійності мереж засноване на виявленні відмови і резервуванні. Причому в мережах з новими технологіями відновлення повинне робитися за час, що не перевищує 50 мс. Сучасною тенденцією в мережах з програмним завданням конфігурації являється перенесення основного навантаження з підвищення надійності з фізичного на більш високі рівні, аж до прикладного. Це відповідає переходу від апаратного способу резервування до програмного способу [11].

Якщо виконати перехід від резервування на фізичному (апаратному) рівні до резервування на більш високих рівнях моделі OSI, з'являється ряд нових переваг. По-перше, при програмних способах є значно більше можливостей для резервування, ніж при апаратних. Крім того, операції резервування на верхніх рівнях є прозорими відносно нижніх рівнів моделі.

Наприклад, якщо після спроби резервування на фізичному рівні (SDH) були зафіксовані негативні результати такого резервування, то вимагалось виконувати додаткове резервування на мережевому рівні, причому ця операція повинна починатися з деякою розрахунковою затримкою, що підвищує час перемикання і досить складно реалізується [12].

Тому резервування в мережах SDN, при якому рішення про резервування приймається на прикладному рівні (у площині управління SDN), а його реалізація виконується в площині даних SDN, найбільшою мірою знімає залежність від резервування на інших рівнях і підвищує швидкість перемикання. Високий рівень надійності (відмовостійкості) мережі забезпечується за рахунок швидкого виявлення ушкоджень і усунення наслідків від цих ушкоджень, тобто відновлення зв'язку за малий час [13].

Усі механізми забезпечення відмовостійкості мережі підрозділяються на два самостійних:

- захисне перемикання (чи резервування);
- відновлення (чи перемаршрутизація).

Процес резервування відбувається шляхом перенаправлення трафіку підготовленим до встановлення з'єднання резервним шляхом. А відновлення відбувається шляхом пошуку нового шляху (перемаршрутизації) після відновлення відмови.

У кожного з механізмів забезпечення відмовостійкості є свої достоїнства і недоліки (таблиця 1).

Таблиця 1

Достоїнства і недоліки механізмів забезпечення відмовостійкості мережі

Механізм	Достоїнства	Недоліки
Захисне перемикання (резервування)	– швидке відновлення зв'язку	– необхідність в додатковій пропускній спроможності
Відновлення (перемаршрутизація)	– краще використання пропускної спроможності мережі	– вимагає більше часу на відновлення зв'язку; – виникає ризик нестабільності мережі

Обидва ці методи дозволяють забезпечити потрібний користувачем показник готовності з'єднання або показник готовності різних послуг, що надаються. В ході вибору мережевого сервісу готовність послуги є важливішим показником, навіть важливішим ніж інші QoS-параметри (приміром, такі як затримка, втрата пакетів та інше). Якщо проаналізувати сучасний ринок телекомунікаційних послуг, то можна помітити таку картину: більше половини користувачів чекають 99,9% доступності, тому вимагається забезпечити K_г близько 0,999999 (для бізнес-сегменту), що відповідає часу простою трохи більше 50 мс [14].

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити ряд завдань, а саме:

- виконати побудову схеми досліджуваної мережі згідно з концепцією SDN;
- розглянути застосування механізмів забезпечення надійності;
- зробити оцінку впливу резервування контролера SDN;
- запропонувати розв'язок задачі перемаршрутизації з обмеженнями;
- зробити головні висновки і пропозиції щодо подальшого дослідження.

Надійність функціонування мережевої інфраструктури забезпечується шляхом використання алгоритмів резервування і відновлення зв'язку між мережевими вузлами і засобами підвищення надійності самих вузлів, в першу чергу, комутаторів. Сьогодні усі серйозні технічні рішення вимагають модулів управління, які характеризуються надмірністю різних підсистем з можливістю їх швидкої заміни в «гарячому» режимі [15].

Для підвищення надійності телекомунікаційних систем і елементів використовують резервування, що полягає в застосуванні того або іншого виду надмірності. Види резервування діляться на 4 типи: структурне, інформаційне, тимчасове і програмне. У інформаційному резервуванні використовує надмірну

інформацію. Тимчасове резервування – застосування надмірного часу. Програмне резервування – застосування надмірних програм [16]. Усі ці види резервування в системі використовуються в цілому або окремо. На сьогодні в практиці найбільше поширюється вид структурного резервування (рис. 1).

Види резервування за схемою включення елементів діляться на постійне, роздільне, резервування із заміщенням, ковзаюче резервування. При постійному резервуванні резервні елементи працюють разом з основними і є найбільш надійними методами з перелічених (рис. 2) вище. При постійному резервуванні при відмові не потрібні особливі конструкції для включення резервних елементів в роботу.

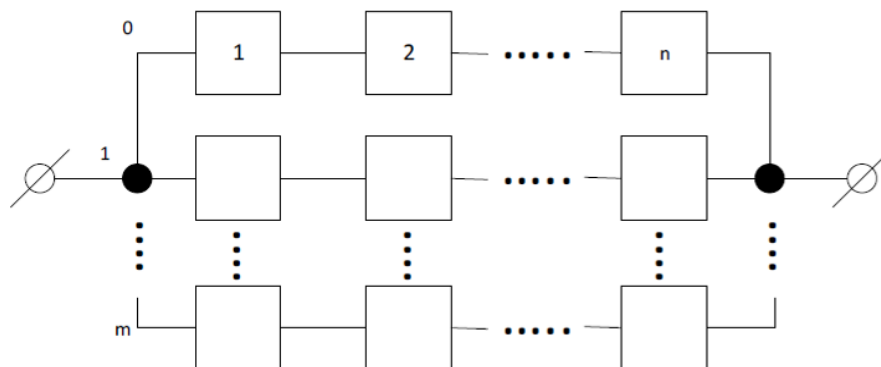


Рис. 2. Загальне резервування з постійним резервом

Роздільним резервуванням називається метод підвищення надійності, за якого резервуються окремо елементи системи. При ковзаючому резервуванні група основних елементів резервується одним або декількома резервними елементами, існує можливість змінити елемент, що відмовив, у будь-якій з груп основної системи (рис. 3).

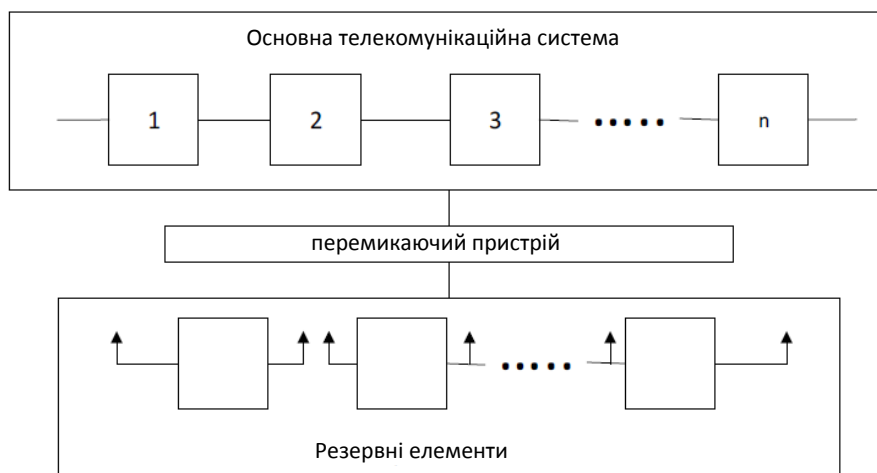


Рис. 3. Схема ковзаючого резервування

Резервуванням називають метод підвищення надійності об'єкту шляхом введення надмірності. Завдання включення надмірності – забезпечення нормального функціонування системи після виникнення відмов в її елементах. Структурне резервування (чи апаратне) передбачає використання надмірних елементів телекомунікаційних систем. Суть такого виду резервування полягає в тому, що в мінімально необхідний варіант системи, елементи якої називають основними, вводяться додаткові елементи, вузли, пристрої або навіть замість однієї системи передбачається використання декількох ідентичних систем [18].

Залежно від режиму роботи розрізняють:

- навантажений резерв – резервний елемент знаходиться в тому режимі роботи, що і основний; при цьому приймається, що характеристики надійності резервних елементів в період їх перебування в якості резервних і в період використання замість основних після відмови останніх залишаються незмінними;
- полегшений резерв – резервний елемент знаходиться в менш навантаженому режимі, ніж основний. Приймається, що характеристики надійності резервних елементів в період їх перебування в якості резервних вище, ніж в період їх використання замість основних після відмови останніх.

Скорочення часу повідомлення T_3 – ймовірно основний аспект під час проектування методів захисту для мережі. Час повідомлення залежить від часу поширення між вузлами сигналу про відмову T_p і від відстані $D(i, a)$, яка може бути визначена як кількість ділянок мережі (ребер) між вузлом, що виявив відмову (вузол a), і вузлом, відповідальним за перемикавання (вузол i) [14].

Ошибка! Объект не может быть создан из кодов полей редактирования.

Якість обслуговування – також важливий критерій для клієнтів, і відповідно, для постачальників послуг. Існуючі призначені для користувача угоди про рівень послуг (SLA – Service Level Agreement), що надаються, дозволяють користувачам пред'являти гарантійні претензії при невиконанні договору постачальником або не якісному наданні послуг. Гарантійні претензії впливають на прибуток, а також об'єми продажів із-за незадоволення клієнтів. Щоб мінімізувати кількість претензій, виробники постійно підвищують надійність своїх продуктів.

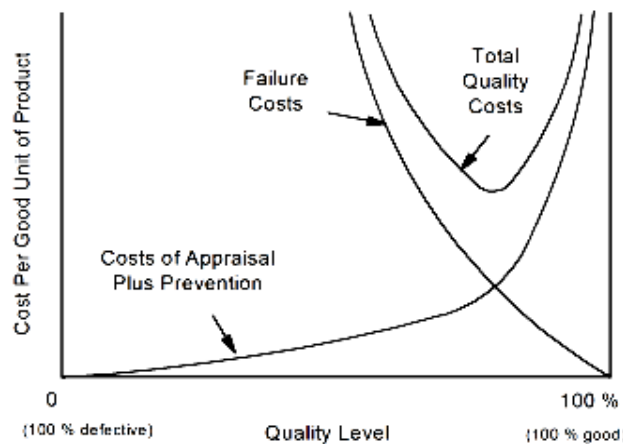


Рис. 4. Залежність функцій оцінок витрат від рівня якості

Висновки

Забезпечення реалізації концепції SDN вимагає використання SDN контролерів, а розміщення цих контролерів стає важливим завданням. У роботах [17] розглядаються питання розміщення контролерів з метою максимізації надійності мереж управління. Надається нова метрика, що називається відсоток втрат в тракті управління, щоб охарактеризувати надійність мереж управління SDN. При правильному розташуванні контролерів надійність мереж управління значно покращується без впровадження неприйнятних затримок між комутаторами і контролерами.

У роботі проаналізована існуюча архітектура мережі і виявлені недоліки існуючої моделі. Виходячи з результатів аналізу запропоновано актуальне і сучасне рішення – перехід до програмно-конфігурованих мереж. Така структура мереж описана стандартом TMN.

В ході дослідження були вивчені і описані основні положення концепції SDN, що пропонують розв'язок проблем існуючої архітектури мережі Інтернет, які дозволять модернізувати мережу, понизити витрати на розвиток і експлуатацію, прискорити впровадження нових мережевих послуг.

Література

1. Смелянский Р.Л. Технология программно-конфигурируемых сетей и виртуализация сетевых сервисов: новые возможности для телекоммуникаций [Электронный ресурс] / Р.Л. Смелянский // Вестник Связи. – 2014. – № 1. – Режим доступа : <http://arccn.ru/media/1132> (20.01.2017)
2. ISO 9001:2015. Quality management systems - Requirements, IDT [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.iso.org/home.html> (22.01.2017)
3. Шлиончак Е.Т. Требования, предъявляемые к современным вычислительным сетям [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://compnets.narod.ru/1-11.html#1.6.5>. Поддержка разных видов трафика (10.02.2017)
4. Легков К. Е. Современные требования к показателям качества информационного обмена в сетях беспроводного доступа специального назначения [Электронный ресурс] / К. Е. Легков, А. А. Донченко // Т-Comm. – 2009. – № 4. – Режим доступа : <http://cyberleninka.ru/article/n/sovremennye-trebovaniya-k-pokazatelyam-kachestva-informatsionnogo-obmena-v-setyah-besprovodnogo-dostupa-spetsialnogo-naznacheniya> (15.02.2017).
5. Найденов А. Эволюция в сетях Дата-Центров. Программно-определяемые сети SDN / «Хабрахабр» – крупнейший в Европе ресурс для IT-специалистов [Электронный ресурс] – Режим доступа : <http://habrahabr.ru/company/ibm/blog/211208> (11.01.2017)
6. Будылдина Н.В., Шувалов В.П. Сетевые технологии высокоскоростной передачи данных : [учебное пособие для вузов] / под ред. ВП. Шувалова. – Москва : Горячая линия – Телеком, 2016. – 343 с.
7. SDN&NFV [Электронный ресурс] // Bellintegrator. – Режим доступа : <http://www.bellintegrator.ru/services-sdn-nfv.html> (10.02.2017)
8. Барсков А. SDN: кому и зачем это надо? [Электронный ресурс] / А. Барсков // Журнал сетевых решений / LAN. – 2012. № 12. – Режим доступа : <https://www.osp.ru/lan/2012/12/13033012> (12.02.2017)
9. Смелянский Р. Л. Программно-конфигурируемые сети [Электронный ресурс] / Р. Л. Смелянский // Открытые системы. СУБД. – 2012. – № 9. – С. 3843. – Режим доступа :

<http://www.osp.ru/os/2012/09/13032491> (26.02.2017)

10. Панеш А.Х. Достоинства и недостатки программно-конфигурируемых компьютерных сетей [Электронный ресурс] / А.Х. Панеш // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 4: Естественно-математические и технические науки. – 2016. – № 3 (186). – Режим доступа : <http://cyberleninka.ru/article/n/dostoinstva-i-nedostatki-programmno-konfiguriruemyyh-kompyuternyyh-setey>

11. Зейбот Р. Резервирование в информационной системе — стандартные решения [Электронный ресурс] / Р. Зейбот // Intelligent enterprise. – 2010. – № 11. – Режим доступа : <https://www.iemag.ru/platforms/detail.php?ID=16464> (21.02.2017)

12. Aganval S., Kodialam M., Lakshman T.V. Traffic Engineering in Software Defined Networks. 2013 Proceedings IEEE INFOCOM, paper no. 06567024, pp. 2211–2219.

13. Амосов А. Отказоустойчивые ИТ-системы: принципы построения [Электронный ресурс] / А. Амосов // PC Week/RE. – 2016. – № 7. – Режим доступа : <https://www.pcweek.ru/infrastructure/article/detail.php?ID=186752> (12.03.2017)

14. Егунов М.М. Резервирование и восстановление в телекоммуникационных сетях [Электронный ресурс] / М.М. Егунов, В.П. Шувалов // Вестник СибГУТИ. – 2012. – № 2. – Режим доступа : http://vestnik.sibsutis.ru/uploads/1349761574_6392.pdf (11.03.2017)

15. Половко А.М., Гуров С.В. Основы теории надёжности / Половко А.М., Гуров С.В. – Петербург : БХВ, 2008. – 560 с.

16. Матвеевский В.Р. Надёжность технических систем : учебное пособие / Матвеевский В.Р. / Московский государственный институт электроники и математики. – М., 2002. – 113 с.

17. Heller B., Sherwood R., McKeown N. On Reliability-optimized Controller Placement for Software-Defined Networks. Rev., 2009, vol. 38, no. 2, pp. 69–74.

References

1. Smelyanskij R.L. Tehnologiya programmno-konfiguriruemyyh setej i virtualizaciya setevykh servisov: novye vozmozhnosti dlya telekommunikacij [Elektronnyj resurs] / R.L. Smelyanskij // Vestnik Svyazi. – 2014. – № 1. – Rezhim dostupa : <http://arccn.ru/media/1132> (20.01.2017)

2. ISO 9001:2015. Quality management systems - Requirements, IDT [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa : <https://www.iso.org/home.html> (22.01.2017)

3. Shlionchak E.T. Trebovaniya, predyavlyayemye k sovremennym vychislitel'nyim setyam [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa : <http://compnets.narod.ru/1-11.html#1.6.5>. Podderzhka raznykh vidov trafika (10.02.2017)

4. Legkov K. E. Sovremennye trebovaniya k pokazatelyam kachestva informacionnogo obmena v setyah besprovodnogo dostupa specialnogo naznacheniya [Elektronnyj resurs] / K. E. Legkov, A. A. Donchenko // T-Comm. – 2009. – № 4. – Rezhim dostupa : <http://cyberleninka.ru/article/n/sovremennye-trebovaniya-k-pokazatelyam-kachestva-informatsionnogo-obmena-v-setyah-besprovodnogo-dostupa-spetsialnogo-naznacheniya> (15.02.2017).

5. Najdenov A. Evolyuciya v setyah Data-Centrov. Programmno-opredelyayemye seti SDN / «Habrahabr» – krupnejshij v Evrope resurs dlya IT-specialistov [Elektronnyj resurs] – Rezhim dostupa : <http://habrahabr.ru/company/ibm/blog/211208> (11.01.2017)

6. Budyldina N.V., Shuvalov V.P. Setevye tehnologii vysokoskorostnoj peredachi dannyh : [uchebnoe posobie dlya vuzov] / pod red. VP. Shuvalova. – Moskva : Goryachaya liniya – Telekom, 2016. – 343 s.

7. SDN&NFV [Elektronnyj resurs] // Bellintegrator. – Rezhim dostupa : <http://www.bellintegrator.ru/services-sdn-nfv.html> (10.02.2017)

8. Barskov A. SDN: komu i zachem eto nado? [Elektronnyj resurs] / A. Barskov // Zhurnal setevykh reshenij / LAN. – 2012. № 12. – Rezhim dostupa : <https://www.osp.ru/lan/2012/12/13033012> (12.02.2017)

9. Smelyanskij R. L. Programmno-konfiguriruemyye seti [Elektronnyj resurs] / R. L. Smelyanskij // Otkrytye sistemy. SUBD. – 2012. – № 9. – S. 3843. – Rezhim dostupa : <http://www.osp.ru/os/2012/09/13032491> (26.02.2017)

10. Panesh A.H. Dostoinstva i nedostatki programmno-konfiguriruemyyh kompyuternyyh setej [Elektronnyj resurs] / A.H. Panesh // Vestnik Aдыгейского государственного университета. Seriya 4: Estestvenno-matematicheskie i tehicheskie nauki. – 2016. – № 3 (186). – Rezhim dostupa : <http://cyberleninka.ru/article/n/dostoinstva-i-nedostatki-programmno-konfiguriruemyyh-kompyuternyyh-setey>

11. Zeybot R. Rezervirovanie v informacionnoj sisteme — standartnye resheniya [Elektronnyj resurs] / R. Zeybot // Intelligent enterprise. – 2010. – № 11. – Rezhim dostupa : <https://www.iemag.ru/platforms/detail.php?ID=16464> (21.02.2017)

12. Aganval S., Kodialam M., Lakshman T.V. Traffic Engineering in Software Defined Networks. 2013 Proceedings IEEE INFOCOM, paper no. 06567024, pp. 2211–2219.

13. Amosov A. Otkazoustojchivye IT-sistemy: principy postroeniya [Elektronnyj resurs] / A. Amosov // PC Week/RE. – 2016. – № 7. – Rezhim dostupa : <https://www.pcweek.ru/infrastructure/article/detail.php?ID=186752> (12.03.2017)

14. Egunov M.M. Rezervirovanie i vosstanovlenie v telekommunikacionnykh setyah [Elektronnyj resurs] / M.M. Egunov, V.P. Shuvalov // Vestnik SibGUTI. – 2012. – № 2. – Rezhim dostupa : http://vestnik.sibsutis.ru/uploads/1349761574_6392.pdf (11.03.2017)

15. Polovko A.M., Gurov S.V. Osnovy teorii nadozhnosti / Polovko A.M., Gurov S.V. – Peterburg : BHV, 2008. – 560 s.

16. Matveevskij V.R. Nadezhnost tehicheskikh sistem : uchebnoe posobie / Matveevskij V.R. / Moskovskij gosudarstvennyj institut elektroniki i matematiki. – M., 2002. – 113 s.

17. Heller B., Sherwood R., McKeown N. On Reliability-optimized Controller Placement for Software-Defined Networks. Rev., 2009, vol. 38, no. 2, pp. 69–74.

Рецензія/Peer review : 4.06.2019 р.

Надрукована/Printed : 23.07.2019 р.

Стаття рецензована редакційною колегією