

УДК 004.12, 004.057.4

[0000-0003-1903-6022] **В. В. Палагін¹**, д-р техн. наук, професор,
e-mail: palahin@ukr.net

[0000-0001-5013-9869] **І. О. Євтушенко²**, аспірант,
e-mail: terald.armstrong@gmail.com

О. О. Гожий³, старший судовий експерт
відділу комп'ютерно-технічних та телекомунікаційних досліджень

^{1, 2} Черкаський державний технологічний університет

б-р Шевченка, 460, м. Черкаси, 18006, Україна

³ Черкаський науково-дослідний експертно-криміналістичний центр МВС України
вул. Пастерівська, 104, м. Черкаси, 18009, Україна

ВІРТУАЛІЗАЦІЯ ЯК СЕРЕДОВИЩЕ РЕАЛІЗАЦІЇ МЕРЕЖЕВИХ ФУНКЦІЙ

Оскільки телекомунікаційні технології розвиваються дуже швидко, то існує потреба в оптимізації розподілу мережових та енергетичних ресурсів для інформаційно-телекомунікаційного обладнання. Перспективним напрямом вирішення цієї проблеми є використання технології віртуалізації, що забезпечує безперебійну роботу обслуговуючих пристроїв та їх високу енергоефективність при різноманітному навантаженні.

Існують дослідження, які демонструють розв'язок задач у сфері мобільного зв'язку нових поколінь та хмарних обчислень, які зосереджені на реалізації конкретної структури мережі та застосуванні середовища віртуалізації. Однак залишаються відкритими питання, пов'язані із забезпеченням високої продуктивності інформаційно-телекомунікаційного обладнання залежно від середовища віртуалізації. Проведено аналіз використання технології віртуалізації у середовищі мобільної мережі п'ятого покоління та визначено основні принципи роботи віртуалізованої мережі. В статті пропонується реалізація сегментів мобільної мережі як віртуалізованих, що забезпечить її гнучкість та продуктивність роботи.

Ключові слова: гіпервізор, технології віртуалізації мережових функцій, програмно-конфігуровані мережі.

Вступ. Технологія віртуалізації залишається перспективною для побудови нових та сучасних телекомунікаційних систем. Основним напрямом застосування віртуалізації є забезпечення інформаційної безпеки, що захищає віртуалізовані ресурси від впливів інформаційних загроз та несанкціонованого доступу до інформаційних даних та системи керування обслуговуючими пристроями. На сьогоднішній день віртуалізація використовується та досліджується у наступних напрямках: реконфігурація роботи систем мобільного зв'язку, оптимізація навантаження дата-центрів, забезпечення ефективної роботи інформаційно-телекомунікаційних систем від «простою» обладнання, впровадження механізмів для зниження енергоспоживання пристроїв при роботі з обладнанням, забезпечення ізоляваності мережових ресурсів від впливу інформаційних загроз на роботу мережі.

Дослідження даної предметної області представлені роботами як закордонних, так і вітчизняних вчених, серед яких М. Hoffmann,

J. Gil Herrera, B. Addis, R. Glitho, С. В. Суліма, М. А. Скулиш та ін. [1]-[4].

Мета та задачі дослідження: підвищення ефективності інформаційно-телекомунікаційного обладнання шляхом оптимізації службового навантаження мережі та забезпечити відмовостійкість роботи мережі за рахунок модифікації мережових функцій з використанням технології віртуалізації через протокол OpenFlow.

Виклад основного матеріалу. Технологія віртуалізації являє собою підхід, в якому частина апаратного ресурсу емулюється в середовищі, відоме як віртуальна машина (VM – Virtual Machine) та віртуальна мережа (VN – Virtual Network). Віртуалізація має наступну будову: на фізичному обладнанні встановлюється операційна система, яка взаємодіє з фізичним обладнанням через драйвери. Поверх операційної системи встановлюється програмне забезпечення, що називається гіпервізором і виступає як монітор VM, що являє собою фрагмент програмного або програмно-апаратного забезпечення для розподілу фізич-

них ресурсів і відслідковує роботу та взаємодію між VM. Гіпервізор забезпечує розподіл фізичних ресурсів для VM залежно від того, в якій конфігурації будуть створені віртуальні робочі станції (рисунк 1). При такому підході гіпервізор є програмною частиною, яка встановлюється всередині операційної системи.



Рисунок 1 – Ієрархія середовища віртуалізації першого типу

При другому підході реалізації гіпервізора відбувається його встановлення на апаратну частину з групою драйверів зі створенням VM (рисунк 2).



Рисунок 2 – Ієрархія середовища віртуалізації другого типу

Таке використання ієрархії дало розвиток технології програмно-конфігурованих мереж – Software Defined Networking (SDN) [5]. Технологія SDN дає можливість централізувати контроль стану мережі та її пристроїв в окремому сервері – контролері. Перелік впроваджених технологій SDN очолюють три основні фірми: Open Network Foundation – очолює стандартизацію протоколів OpenFlow [6]; Cisco, Hewlett-Packard – займаються розробкою комутаторів з підтримкою протоколів OpenFlow та інтеграцією пристроїв у SDN [7], [8]; VmWare – займаються розробкою рішень для віртуалізації, серед яких VmWare ESXI. Діяльністю, пов'язаною з технологією SDN, займається консорціум Open Networking Foundation (ONF) і впроваджує стандартизацію контролю та площини даних, реалізує централізацію управління мережею та її програмування.

На сьогодні представлено багато контролерів, які дають можливість централізувати мережу в одній платформі. В залежності від обладнання, яке використовується, є можливість взаємодії контролерів від виробників мережеских пристроїв і контролерів з відкритим кодом.

Пріоритетним напрямком розвитку мережевої інфраструктури є використання технології віртуалізації мережеских функцій (Network Function Virtualization – NFV), яка забезпечує перенесення частини технологій мережеских функцій (маршрутизація, шифрування, DNS), які зазвичай виконуються на окремих мережеских пристроях, у середовище віртуалізації. Проте використання даної технології передбачає наявність фізичного обладнання, на якому буде розташоване середовище віртуалізації та розгорнуті мережескі функції.

Серед переваг використання технології NFV можна виділити:

- забезпечення ізоляції мережевої інфраструктури;
- швидкість у згортанні та розгортанні мережі з одного кінця в інший;
- гнучкість у реалізації мережеских функцій;
- оптимізація навантаження в серверній інфраструктурі та дата-центрів.

Розвиток та співпрацю над технологією NFV було розпочато у 2012 р. сімома провідними телекомунікаційними компаніями, такими як AT&T, BT, Deutsche Telekom, Orange, Telecom Italia, Telefonica та Verizon [9]. Ними було обрано Європейський інститут стандартів зв'язку (European Telecommunication Standard Institute – ETSI) як провідний центр провадження специфікацій для технології NFV.

Архітектура технології віртуалізації.

Європейський інститут стандартів телекомунікацій визначив архітектурну будову технології NFV, яку представлено на рисунку 3 і яка складається з наступних функціональних блоків системи NFV: віртуалізовані мережескі функції (Virtualized Network Function – VNF), NFV інфраструктура (NFVI) і NFV структура менеджменту та оркестрації (MANO) [10]. Останній складається з менеджера віртуалізованої інфраструктури (Virtualized Infrastructure Manager – VIM), менеджера віртуальної мережескої функції (VNF Manager) та оркестратора NFV (NFV Orchestrator).

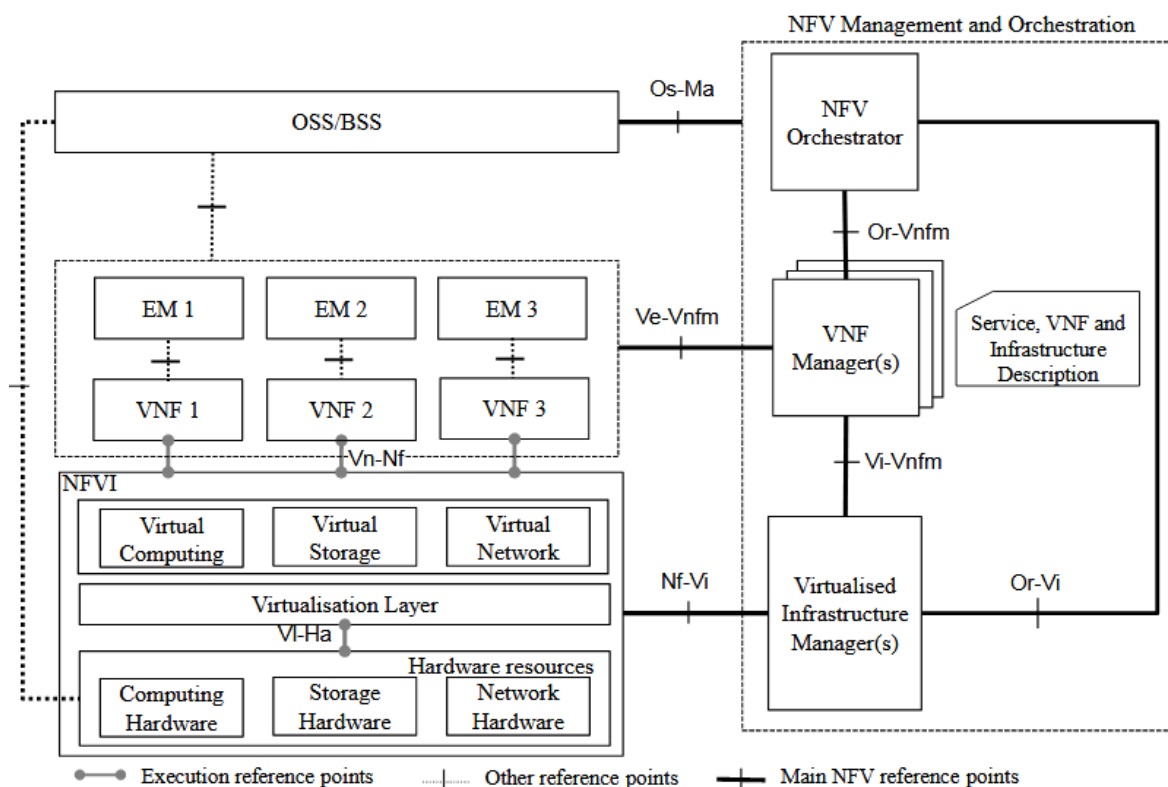


Рисунок 3 – Архітектура технології NFV

Джерело: [11]

У більшості нових сценаріїв NFV охоплює велику географічну область, що дає можливість більшої кількості розгортання VNF миттєво. Мобільна мережа зв'язку п'ятого покоління в своїй архітектурі використовує технологію NFV для забезпечення високої потужності [11]. Розглянемо на основі мережі 5G принципи застосування технології NFV.

Розглянемо логічну архітектуру мережі п'ятого покоління, яка є верхнім рівнем. У ній

описуються аспекти програмного забезпечення: віртуалізація та динамічна конфігурація. Функціональний рівень мережі поданий у змішаній формі: в архітектурі функції можуть реалізовуватися як на фізичному рівні (Physical Network Function – PNF), так і на віртуальному рівні VNF. На рисунку 4 представлено логічну модель мережі 5G, яка складається з декількох площин: транспортного рівня, хмарної інфраструктури, доступу, контролю, бізнесу та послуги та ін.

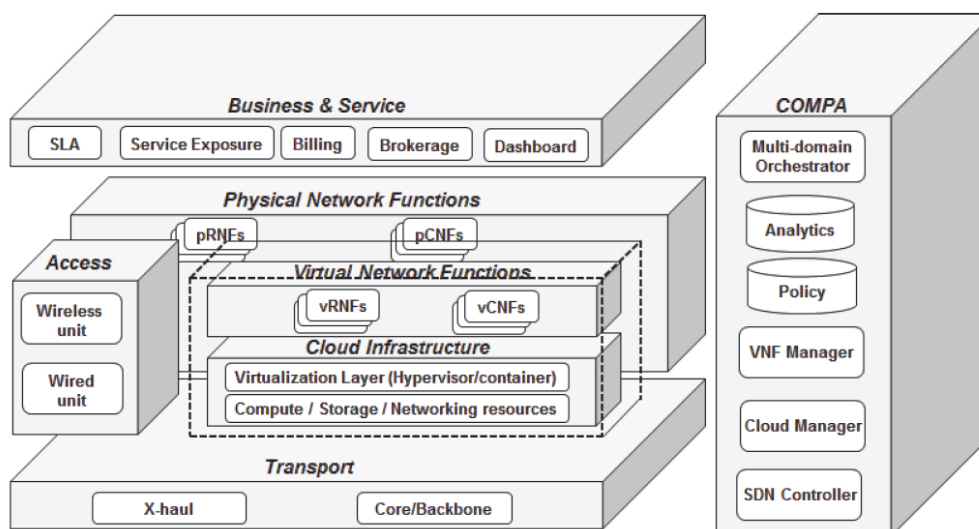


Рисунок 4 – Логічна модель мережі п'ятого покоління 5G

Впровадження технології віртуалізації у мережах наступного покоління. Хмарна інфраструктура містить у собі фізичні, масивні, мережеві ресурси та опосередковане програмне забезпечення рівня віртуалізації (гіпервізор або контейнер), яке перетворює фізичні чи логічні ресурси, які необхідні для обробки у хмарному середовищі обробки даних. Традиційні функції, які підлягають віртуалізації – це функції RAN (Radio Access Network) та EPC (Evolved Packet Core), що реструктуризовані для розгортання як VNF [12].

Використання технології NFV дає можливість оптимізувати роботу мережевих пристроїв за рахунок перерозподілу ресурсів мережі, збільшити енергоефективність мережі за рахунок віртуалізації окремих сегментів мережі як віртуальні машини, що в результаті дає зменшення часу їх простою у мережі при

вимкненні неактивних портів, забезпечити безпеку мережевих сегментів за рахунок ізоляції у VLAN на рівні контролеру, «розрізі мережі» [13].

Як показують дослідження, у мережах постійно зростає кількість трафіку користувача та службового трафіку. Мобільна мережа п'ятого покоління передбачає більшу смугу пропускання для пристроїв за рахунок збільшення попиту до інформаційних даних – соціальні мережі, відео та аудіо у високій якості, постійно зростаючий попит на використання технології Інтернет-речей (IoT) та ін. Компанія Ericsson проаналізувала збільшення обсягу мобільного навантаження у додатках близько 35 Ексабайтів на місяць [14]. Дані представлені на рисунку 5, де до графіка не були включені дані трафіку відео та соціальних мереж, оскільки обсяг даних перевищується за рахунок збільшення контенту високої якості.

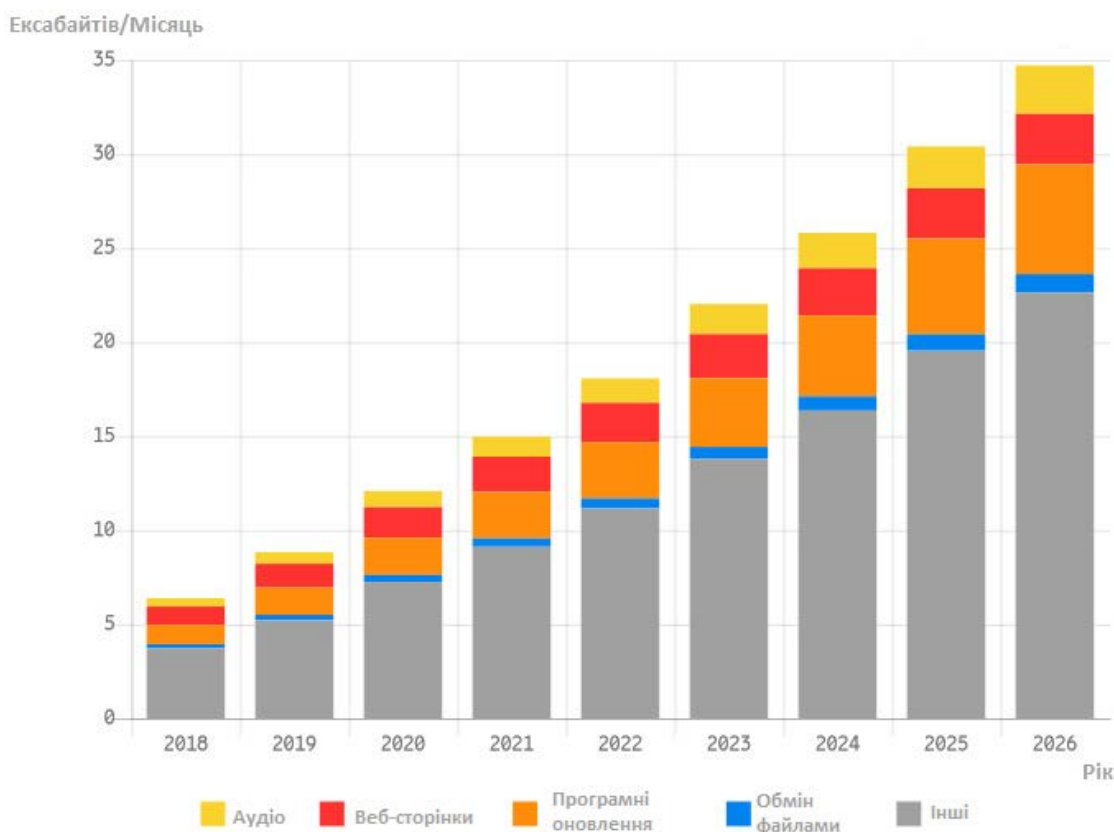


Рисунок 5 – Графік збільшення обсягу даних додатків щороку

На графіку представлений інший тип навантаження, що характеризується як службові дані. При використанні технології NFV у мобільній мережі зв'язку можна застосувати віртуалізовану мережеву функцію, яка міститиме метод, що оптимізує навантаження у

мережі. Такий підхід дасть можливість зменшити обсяг службової інформації за рахунок реконфігурації віртуалізованих сегментів зв'язку у мобільній мережі 5G, таких як RAN та EPC. У RAN це забезпечується за рахунок віртуалізації апаратних реєстрів мережі та

зміні роботи мережі за рахунок реконфігурації сегменту EPS на рівні дата центрів. В подальшому, це дає можливість збільшити відмовостійкість у разі виходу з ладу або перевантаження мережевих пристроїв у мережі за рахунок активації резервних ресурсів за менший обсяг часу. Крім цього, можна підвищити відмовостійкість за рахунок оптимізації пакетів, що змінюються протоколом OpenFlow. За рахунок реорганізації пакетів трафіку можна досягти зменшення обсягу службової інформації та збільшити продуктивність, енергоефективність та безпеку мережі.

Основною перевагою віртуалізації є швидке розгортання мережевих функцій у мережі за менший обсяг часу. Консорціумом 3GPP [15] визначено, що для реалізації мережі 5G застосовується перехід до покоління на базі часткової віртуалізації ядра мережі четвертого покоління LTE шляхом віртуалізації мережевих функцій ядра EPS та задіяння частотного ресурсу для підтримки обох стандартів. Після чого відбувається поступовий перехід до реалізації функціонування мережі на ядрі наступного покоління, яке працює переважно з віртуалізованими мережевими функціями VNF. Також технологія віртуалізації забезпечує менші капітальні вклади на придбання й обслуговування обладнання (CAPEX та OPEX) в мережі зв'язку великих масштабів.

Результати досліджень. У роботі пропонується підвищити відмовостійкість телекомунікаційної мережі п'ятого покоління з використанням технології віртуалізації мережевих функцій. Це дає змогу раціонально розподіляти фізичні та інформаційні ресурси в мережі за рахунок перенесення частини мережевих функцій ядра мережі нового покоління як віртуалізовані. Окрім цього, зменшити обсяг службових даних за рахунок впровадження мережевої функції на базі технології віртуалізації, що сприятиме підвищенню відмовостійкості мережі у пікові періоди та потенційного збільшення навантаження. На основі проведеного в роботі аналізу можна зробити наступні висновки.

Для досягнення підвищення відмовостійкості можна з використанням єдиного серверу, який виступатиме як контролер мережі, що є частиною технології програмно-конфігурованих мереж SDN. Контроль за мережевим трафіком забезпечуватиметься контролером, який використовує протокол OpenFlow, що дає можливість вносити зміни в

дані та відповідно направляти ресурси у різні сегменти мережі.

Аналіз впровадження технології віртуалізації показав, що контроль за станом роботи мережі та її обслуговуючого обладнання дозволяє централізовано стежити та конфігурувати сегменти мережі за короткий відлік часу. Впроваджені віртуалізовані мережеві функції дозволять розподіляти трафік мережі між сегментами за визначеним сценарієм, що забезпечить продуктивність роботи всієї мережі.

Обговорення результатів. Для підвищення ефективності використання інформаційно-телекомунікаційного обладнання пропонується оптимізувати службове навантаження мереж. Розглядається внесення змін у пакетний трафік мережі за рахунок його модифікації з використанням протоколу OpenFlow. Для цього на базі контролеру мережі, який відповідає за централізацію керування та програмування мережі, є можливість створення власної віртуальної мережевої функції, яка здатна вносити зміни у роботу мережевих пристроїв та її потоків. Створення мережевої функції можливе в технології NFV на базі контролеру SDN, що задіяний у відповідній мережі.

Висновки. Технологія віртуалізації надає можливості як у підвищенні продуктивності роботи мережі та її пристроїв, так і спрощує розгортання нових мережевих функцій на відстані. Розвиток технології програмно-конфігурованих мереж SDN дає можливість контролювати роботу мережі віддалено, а протокол OpenFlow дає можливість вносити зміни в трафіку мережі.

Концепція технології віртуалізації поступово розширюється для сектору зв'язку, де зосереджена робота з великим обсягом обробки інформації: оператори мобільного зв'язку, центри обробки даних та хмарні служби. Це дає можливість забезпечити продуктивність та інформаційну безпеку від впливу зовнішніх інформаційних загроз за рахунок ізоляції частини ресурсів як віртуалізовані та забезпечити обмежений доступ до даних за потреби. Більш актуальним впровадження віртуалізації є у сегменті зв'язку через значне зростання обсягу передавання та обробки даних через мережу зв'язку і поступове впровадження хмарних технологій.

Проаналізовані дані та результати дають можливість врахувати збільшення обсягу навантаження в мережі для впровадження тех-

нології віртуалізації, щоб забезпечити продуктивність роботи мережі в пікові періоди навантаження шляхом балансування між основними сегментами і забезпечити енергоефективність роботи обладнання, уникнувши його простоювання через створення програмної віртуальної мережевої функції. Впровадження технології віртуалізації надає можливість підвищити продуктивність роботи системи мобільного зв'язку п'ятого покоління до 50 % за рахунок створення віртуалізованої мережевої функції без заміни апаратної складової мережі шляхом створення мережевої функції та зменшити витрати на обслуговування мережі.

Віртуалізація надає змогу збільшити продуктивність роботи центру обробки даних за рахунок створення мережевої функції, що перерозподілятиме дані для обробки інформації, забезпечення балансування мережі, підвищити енергоефективність роботи мережі, зменшивши «простоювання» обладнання та розгортання мережевих функцій за значно менший час.

Для мобільної мережі п'ятого покоління пропонується створити мережеву функцію, яка забезпечуватиме відмовостійкість роботи частини ядра мережі наступного покоління, та рівномірно розподілити обробку службових даних у мережі і цим самим підвищити продуктивність роботи обладнання. В перспективі пропонується розробити мережеву функцію, яка відповідатиме за забезпечення відмовостійкої роботи мережі за створеним сценарієм балансування та підвищить продуктивність роботи мережі.

Список використаних джерел

- [1] A. Basta, W. Kellerer, M. Hoffmann, H. J. Morper, and K. Hoffmann, "Applying NFV and SDN to LTE mobile core gateways, the functions placement problem", in *Proc. 4th Workshop on All Things Cellular: Operations, Applications, & Challenges, Association for Computing Machinery*, New York, NY, USA, 2014, pp. 33-38.
- [2] J. G. Herrera, and J. F. Botero, "Resource allocation in NFV: A comprehensive survey", *IEEE Transactions on Network and Service Management*, vol. 13, no. 3, pp. 518-532, Sept. 2016.
- [3] B. Addis, D. Belabed, M. Bouet, and S. Secci, "Virtual network functions placement and routing optimization", *2015 IEEE 4th Int. Conf. on Cloud Networking*, 2015, pp. 171-177.
- [4] L. Globa, M. Skulysh, and S. Sulima, "Method for resource allocation of virtualized network functions in hybrid environment", *2016 IEEE Int. Black Sea Conf. on Communications and Networking*, 2016, pp. 1-5.
- [5] Open Networking Foundation, "The SDN Solutions Showcase", Jan. 2016. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://opennetworking.wpengine.com/>. Дата звернення: Січ. 18, 2021.
- [6] Open Networking Foundation, "The OpenFlow Switch Specification". [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://opennetworking.org/>. Дата звернення: Січ. 18, 2021.
- [7] Cisco, Software-Defined Networking. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/software-defined-networking/overview.html> Дата звернення: Лют. 09, 2021.
- [8] Hewlett Packard, "Software Defined Networking". [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://techlibrary.hpe.com/ie/en/networking/solutions/technology/sdn/>. Дата звернення: Лют. 20, 2021.
- [9] European Telecommunications Standards Institute, "Network Functions Virtualisation – White Paper on NFV priorities for 5G", 2017. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://portal.etsi.org/NFV/NFV_White_Paper_5G.pdf. Дата звернення: Лют. 21, 2021.
- [10] M. Abu-Lebdeh, D. Naboulsi, R. Glitho, and C. W. Tchouati, "NFV orchestrator placement for geo-distributed systems", *2017 16th IEEE Int. Symposium on Network Computing and Applications*, 2017, pp. 1-5.
- [11] European Telecommunications Standards Institute, "Network Functions Virtualization (NFV); Architectural Framework", Dec. 2014. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.etsi.org>. Дата звернення: Лют. 10, 2021.
- [12] 5G Forum, "5G Vision, Requirements, and Enabling Technologies", Republic of Korea, 2016.
- [13] J. Ordonez-Lucena, P. Ameigeiras, D. Lopez, J. J. Ramos-Munoz, J. Lorca, and J. Folguei-

- ra, "Network slicing for 5G with SDN/NFV: Concepts, architectures, and challenges", *IEEE Communications Magazine*, vol. 55, no. 5, pp. 80-87, May 2017.
- [14] Ericsson Mobility Report, Telefonaktiebolaget LM Ericsson 1994-2021. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.ericsson.com/en/mobility-report/>. Дата звернення: Січ. 20, 2021.
- [15] 3rd Generation Partnership Project "3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Services and System Aspects; Release 15 Description; Summary of Rel-15 Work Items (Release 15)", 3GPP Technical Report 21.915 (2019-09) [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://portal.3gpp.org/>. Дата звернення: Берез. 23, 2021.
- ### References
- [1] A. Basta, W. Kellerer, M. Hoffmann, H. J. Morper, and K. Hoffmann, "Applying NFV and SDN to LTE mobile core gateways, the functions placement problem", in *Proc. 4th Workshop on All Things Cellular: Operations, Applications, & Challenges, Association for Computing Machinery*, New York, NY, USA, 2014, pp. 33-38.
- [2] J. G. Herrera, and J. F. Botero, "Resource allocation in NFV: A comprehensive survey", *IEEE Transactions on Network and Service Management*, vol. 13, no. 3, pp. 518-532, Sept. 2016.
- [3] B. Addis, D. Belabed, M. Bouet, and S. Secci, "Virtual network functions placement and routing optimization", *2015 IEEE 4th Int. Conf. on Cloud Networking*, 2015, pp. 171-177.
- [4] L. Globa, M. Skulysh, and S. Sulima, "Method for resource allocation of virtualized network functions in hybrid environment", *2016 IEEE Int. Black Sea Conf. on Communications and Networking*, 2016, pp. 1-5.
- [5] Open Networking Foundation, "The SDN Solutions Showcase", Jan. 2016. [Online]. Available: <http://opennetworking.wpengine.com/>. Accessed on: Jan. 18, 2021.
- [6] Open Networking Foundation, "The Open-Flow Switch Specification". [Online]. Available: <https://opennetworking.org/>. Accessed on: Jan. 18, 2021.
- [7] Cisco, "Software-Defined Networking". [Online]. Available: <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/software-defined-networking/overview.html>
- [8] Hewlett Packard, "Software Defined Networking". Available: <https://techlibrary.hpe.com/ie/en/networking/solutions/technology/sdn/> Accessed on: Feb. 20, 2021.
- [9] European Telecommunications Standards Institute, "Network Functions Virtualisation – White Paper on NFV priorities for 5G", 2017. [Online]. Available: https://portal.etsi.org/NFV/NFV_White_Paper_5G.pdf. Accessed on: Feb. 21, 2021.
- [10] M. Abu-Lebdeh, D. Naboulsi, R. Glitho, and C. W. Tchouati, "NFV orchestrator placement for geo-distributed systems", *2017 16th IEEE Int. Symposium on Network Computing and Applications*, 2017, pp. 1-5.
- [11] European Telecommunications Standards Institute, "Network Functions Virtualization (NFV); Architectural Framework", Dec. 2014. [Online]. Available: <http://www.etsi.org>. Accessed on: Feb. 10, 2021.
- [12] 5G Forum, "5G Vision, Requirements, and Enabling Technologies", Republic of Korea, 2016.
- [13] J. Ordonez-Lucena, P. Ameigeiras, D. Lopez, J. J. Ramos-Munoz, J. Lorca, and J. Folgueira, "Network slicing for 5G with SDN/NFV: Concepts, architectures, and challenges", *IEEE Communications Magazine*, vol. 55, no. 5, pp. 80-87, May 2017.
- [14] Ericsson Mobility Report, Telefonaktiebolaget LM Ericsson 1994-2021. [Online]. Available: <https://www.ericsson.com/en/mobility-report>. Accessed on: Jan. 20, 2021.
- [15] 3rd Generation Partnership Project, "3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Services and System Aspects; Release 15 Description; Summary of Rel-15 Work Items (Release 15)", 3GPP Technical Report 21.915 (2019-09) [Online]. Available: <https://portal.3gpp.org/>. Accessed on: Mar. 23, 2021.

V. V. Palahin¹, *Doctor of Technical Sciences, Professor,*
e-mail: palahin@ukr.net

I. O. Yevtushenko², *Ph. D. Student,*
e-mail: terald.armstrong@gmail.com

O. O. Hozhyi³, *Forensic Expert*

^{1,2} Cherkasy State Technological University,
Shevchenko blvd, 460, Cherkasy, 18006, Ukraine

³ Cherkasy Scientific Research Forensic Centre of the Ministry of Internal Affairs in Ukraine
Pasterivska st., 104, Cherkasy, 18009, Ukraine

VIRTUALIZATION AS AN ENVIRONMENT OF REALIZATION OF NETWORK FUNCTIONS

As telecommunication technologies are evolving very rapidly, there is a need to optimize the allocation of network and energy resources for information and telecommunications equipment. A promising way to solve this problem is the use of virtualization technology, which ensures the smooth operation of service devices and their high energy efficiency at different loads. There are studies that demonstrate solutions for new generation mobile and cloud computing that focus on the implementation of specific network structure and the application of a virtualization environment. However, issues related to high-performance information and telecommunication equipment, depending on the virtualization environment, remain open. The analysis of the use of virtualization technology in the environment of the 5th generation mobile network is carried out and the basic principles of virtualized network operation are determined. The article proposes the implementation of segments of the mobile network as virtualized ones, which will ensure its flexibility and productivity.

The technology of virtualization of network functions provides the speed and reliable operation of telecommunication networks due to the operation of the network function as a separate virtual machine. This allows to provide high-speed deployment of the function in seconds or minutes, ensure the performance of data centers, increase information security and reduce CAPEX and OPEX. Virtualization allows to rationally allocate physical resources of servers for certain network functions and provides centralized control and management of the network. The main protocol that provides centralized network maintenance is the OpenFlow protocol. It has the ability to make changes to the network load and with less resource costs to send data to the end user on the optimal route. Virtualization technology of network functions is becoming a widespread technology in computer networks. Data centers have high protection against the effects of external threats, mobile networks increase network performance through flexible load balancing and increase the energy efficiency of the equipment.

In other cases, control over network traffic is provided, the load is distributed to network segments and network fault tolerance is increased.

Keywords: *hypervisor, technologies of network functions virtualization, software-defined networks.*

Стаття надійшла 20.05.2021

Прийнято 17.06.2021