

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ



МУХІ-АЛДІН ХАССАН МОХАМЕД

УДК 621.391

**МОДЕЛІ ТА МЕТОДИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ОБСЛУГОВУВАННЯ У
МЕРЕЖАХ З ПІДТРИМКОЮ ФУНКЦІЙ ВІРТУАЛІЗАЦІЇ**

Спеціальність: 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі
05 «Технічні науки»

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ– 2020

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано в Одеському національному політехнічному університеті

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
ХЛАПОНІН Юрій Іванович,
Київський національний університет будівництва і
архітектури, Міністерство освіти і науки України,
завідувач кафедри кібербезпеки та комп'ютерної інженерії

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор,
ГАВРИЛКО Євген Володимирович,
Національний технічний університет України “Київський
політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”,
Міністерство освіти і науки України,
професор кафедри автоматизації проектування
енергетичних процесів і систем

доктор технічних наук, старший науковий співробітник,
ТРЕМБОВЕЦЬКИЙ Максим Петрович,
Державний університет телекомунікацій,
Міністерство освіти і науки України,
завідувач кафедри енергоефективних технологій

Захист дисертації відбудеться “18” березня 2020 р. о 14:00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.062.19 у Національному авіаційному університеті за адресою: 03680, м. Київ, пр-т. Любомира Гузара, 1.

З дисертацією можна ознайомитись у Національному авіаційному університеті за адресою: 03680, м. Київ, пр-т. Любомира Гузара, 1.

Автореферат розісланий “ 18 ” лютого 2020 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради Д 26.062.19
доктор технічних наук, доцент



Р.С. Одарченко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Підтримка та надання широкого спектру послуг з відповідним рівнем якості обслуговування є одним з найперспективніших напрямків розвитку мультисервісних мереж. В останні десятиліття значної популярності набуває об'єднання різних видів послуг в рамках однієї, універсальної, мережевої інфраструктури. Однак необхідність впровадження різноманітних послуг та підтримки відповідного рівня їх якості призводить до значного ускладнення мережевого обладнання, що, негативно впливає на якість обслуговування. Незважаючи на постійну модернізацію концепції мережевого управління розрив між якістю обслуговування, що потребується, та дійсною якістю продовжує збільшуватися.

Побудова та впровадження мереж з підтримкою технології віртуалізації мережевих функцій (Network Function Virtualization, NFV) є одним із найперспективніших рішень, впровадження якого дозволяє значно підвищити якість обслуговування. Технологія NFV дозволяє реалізувати широкий набір функцій та послуг, що надаються мережевим обладнанням та мають апаратну реалізацію (мережеві екрани, пограничні маршрутизатори, комутатори, сервери доступу та інших), у вигляді відкритого програмного забезпечення. З використанням технології NFV будь-яка послуга може буди оперативно впроваджена у необхідний час у необхідному місці мережі та надана користувачу с відповідним рівнем якості.

Однак, загальний перехід до використання NFV випереджає розвиток засобів та методів управління. В той же час саме ефективність засобів управління у значній мірі визначає успішність проекту. Таким чином розробка ефективних засобів управління віртуалізованих мереж є однією з найбільш актуальних задач у галузі. Проблемою розвитку NFV є й те, що технологія не має остаточної кінцевої реалізації, а вимоги щодо її функціонування постійно змінюються. Також відкритими залишаються питання формування та управління наданням комплексних сервісів, в умовах функціонування гетерогенної розподіленої мережі за підтримки гарантованої якості обслуговування. У більшості випадків, задача забезпечення належного рівня якості вирішується за рахунок введення структурної надмірності у мережевій інфраструктурі, що призводить до невиправданого підвищення результуючої вартості сервісів.

Розробка та впровадження ряду методів та моделей, що дозволять динамічно корегувати склад комплексних сервісів, ефективно розподіляти мережеві ресурси під час їх надання та контролювати якість їх надання, є перспективним напрямом розвитку технології NFV.

Розвитку технології віртуалізації мережевих функцій, а саме дослідженням та удосконаленню методів розробки та впровадження механізмів формування та надання послуг з гарантованою якістю, займаються такі європейські телекомунікаційні провайдери, як Alcatel-Lucent, AT&T, BT, Deutsche Telekom, Orange, Telecom Italia та ряд міжнародних інститутів і консорціумів - ETSI, IRTF, IETF SFC WG, DMTF OVF. Методам аналізу та покращенню якості обслуговування у мережах з підтримкою технології NFV, зокрема, ефективності розподілу

мережевих ресурсів та коректності функціонування системи управління присвячено роботи дослідників AT&T (Б. Хана, В. Копалакришна), Deutsche Telekom (У. Мишель, К. Мішель), Telecom Italia (Е. Демарія, А. Піннола), Vodafone (С. Сабатер, А. Неал) та інших. Питанням аналізу, розробки та впровадженню NFV рішень також присвячено ряд робіт російських та українських вчених - Захарова В. А., Смілянського Р. Л., Кучерявого А. Є., Чемерецького Є. В. та ін.

Виходячи з цього, **науково-прикладна задача**, що полягає у вдосконаленні існуючих та розробці нових моделей і методів формування та надання комплексних послуг в мережах з підтримкою функцій віртуалізації, що дозволяють раціонально використовувати мережеві ресурси відповідно з поточним станом мережі і QoS вимог користувачів, а отже й тема дисертаційної роботи «Моделі та методи забезпечення якості обслуговування у мережах з підтримкою функцій віртуалізації», що спрямована на вирішення зазначеної задачі, є актуальною.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконана у відповідності до положень «Концепції Національної програми інформатизації», «Концепції національної інформаційної політики», «Концепції конвергенції телефонних мереж і мереж з пакетною комутацією в Україні», «Стратегії розвитку інформаційного суспільства в Україні».

Мета і задачі дослідження.

Метою дисертаційної роботи є забезпечення необхідного рівня якості обслуговування у мережах з підтримкою функцій віртуалізації. Для досягнення поставленої мети в роботі запропоновані і вирішені наступні завдання:

1. проведено аналіз архітектури, принципів побудови мультисервісних мереж з підтримкою функцій віртуалізації та методів управління ресурсами для забезпечення необхідного рівня якості обслуговування;
2. розроблено метод динамічної реплікації сервісів в мережах з підтримкою функцій віртуалізації мережеских ресурсів;
3. удосконалено метод формування та управління складом комплексних сервісів в мережах з підтримкою функцій віртуалізації;
4. удосконалено метод балансування навантаження в мережі з підтримкою віртуалізації мережеских ресурсів;
5. набув подальшого розвитку метод динамічного розподілу пропускної здатності каналів передачі даних під час надання комплексних сервісів;
6. проведено дослідження працездатності та ефективності запропонованих в роботі рішень.

Об'єкт дослідження – процеси управління якістю обслуговування формування та надання комплексних сервісів з використанням технології NFV.

Предмет дослідження – моделі та методи забезпечення якості обслуговування у віртуалізованих мережах.

Методи дослідження. Під час розв'язання поставлених задач, зокрема, при оцінці взаємодії мережеских елементів у процесі надання комплексних сервісів було використано положення теорії управління багаторівневими системами; положення теорії множин використано під час аналізу та формування складу комплексного сервісу; теорія масового обслуговування та теорія графів - під час вирішення задачі балансування навантаження у мультисервісних мережах з підтримкою технології

NFV; апарат Е-мереж та методи аналізу розподілу ресурсів - під час оцінки коректності та ефективності розподілу мережевих ресурсів; методи імітаційного моделювання та математичної статистики - під час проведення та оцінки результатів експериментального дослідження.

Наукова новизна отриманих результатів. В ході розв'язання наукової задачі було отримано наступні нові наукові результати:

1. Розроблено метод динамічної реплікації сервісів в мережах з підтримкою функцій віртуалізації мережевих ресурсів, який за рахунок використання теорії мережевого обчислення дозволяє підвищити доступність і ефективність надання сервісів за рахунок своєчасного формування, видалення копій різних типів сервісів і їх раціонального розподілу між фрагментами мережі.

2. Удосконалено метод формування та управління складом комплексних сервісів в мережах з підтримкою функцій віртуалізації шляхом урахування поточного стану ресурсів мережі під час формування і управління складом сервісів, що дозволяє забезпечити необхідний рівень якості обслуговування у відповідності до погодженого договору про якість обслуговування;

3. Удосконалено метод балансування навантаження в мережі з підтримкою віртуалізації мережевих ресурсів за рахунок ранжування сервісів по якості їх надання та необхідній пропускній здатності та послідовного перерозподілу наявних вільних мережевих ресурсів, що дозволяє на основі аналізу поточного навантаження як на віртуальну, так і на фізичну складову мультисервісної мережі забезпечити заданий рівень якості обслуговування з меншими накладними витратами.

4. Набув подальшого розвитку метод динамічного розподілу пропускної здатності каналів передачі даних у NFV мережах, що базується на принципах розподілення залишкової пропускної спроможності. Застосування даного методу дозволяє уникнути повного завантаження та перевантаження каналу передачі.

Обґрунтованість і достовірність отриманих в роботі нових наукових результатів забезпечувалась та підтверджувалась коректним використанням ключових положень відомих та апробованих математичних методів: логіках вищого порядку, теорії управління багаторівневими системами, теорії графів, теорії масового обслуговування та мережевого обчислення, а також поширеними та широкоживаними методами верифікації.

Наукове значення отриманих результатів. Запропоновані у дисертаційному дослідженні математичні моделі та методи формалізації вимог специфікації, аналізу ефективності розподілу мережевих ресурсів, перевірки відповідності готового мережевого рішення с підтримкою технології NFV вимогам специфікації та оцінки якості надання послуг дозволяють забезпечити належний рівень якості обслуговування у віртуалізованих мережах.

Результати дисертаційної роботи можуть бути рекомендовані при проектуванні та вдосконаленні структури мереж з підтримкою технологій віртуалізації, зокрема технології NFV. Запропоновані моделі та методи можуть бути використані як науково-методична база для подальших досліджень функціонування систем управління та оркестровки, а також під час розробки та впровадження механізмів віртуалізації у інфраструктурі NFV.

Практична значення одержаних результатів досліджень полягає в тому, що запропоновані математичні моделі і методи можуть бути використані під час розробки, впровадження та підтримки мультисервісних мереж, що базуються на хмарному підході з використанням технології віртуалізації мережевих функцій. Зокрема, запропоновані методи і моделі аналізу та оцінки якості надання послуг було використано під час розробки процесів пошуку та резервування системою MANO каналів зв'язку з достатньою пропускну здатністю, процесу резервування ресурсів за допомогою протоколу RSVP та формування агрегованого потоку даних уздовж віртуальних каналів зв'язку. Розроблені моделі та методи можуть бути використані як науково-методична база для подальших досліджень функціонування і надання сервісів у різних типах розподілених мереж, що функціонують на основі концепції NFV: під час розробки, підтримки, проектування і впровадження різних конвергентних мультисервісних мереж, заснованих на хмарному підході.

Результати дисертаційної роботи впроваджено у Державному підприємстві «Науковий центр точного машинобудування» Державного космічного агентства України (акт впровадження № 1 від 4.04.2018 р.), ТОВ "Світ-ІТ", (акт впровадження № 1203-1 від 12.03.2019 р.), у навчальному процесі в Київському національному університеті будівництва і архітектури (Довідка про впровадження від 08.11.2019 р.).

Особистий внесок здобувача. Всі дослідження в межах дисертаційної роботи автор виконав самостійно або у співавторстві. Автор самостійно виконав всі теоретичні і експериментальні дослідження, які складають основу дисертаційної роботи. Всі основні результати дослідження, представлені до захисту, отримані автором самостійно.

Апробація результатів дисертації. Основні наукові результати і положення дисертації були представлені, доповідались та всебічно обговорені на дев'яти міжнародних науково-технічних конференціях і форумах: Conference BEAR, University of Birmingham, 24 June 2013 (Birmingham, UK), IX Міжнародна конференція "Електроніка та прикладна фізика", жовтень 2013 р. (Київ, Україна), XII International Conference Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science (TCSET'2014, Slavske, Ukraine), Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке: 18-й Международный молодежный форум, 14–16 апреля 2014 г. (Харьков, Украина), Perspective technologies and methods in MEMS design, 22-24 June 2014 (MEMSTECH'2014, Polyana-Svalyava (Zakarpattia), Ukraine), The First International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications Science and Technology, 14-17 October 2014 (Kharkiv, Ukraine), IX Міжнародна конференція "Електроніка та прикладна фізика", 22-25 жовтня 2014 (Київ, Україна), 5th Annual Conference BEAR PGR, 15 December, 2014 (Birmingham, UK), XIIIth International Conference The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics (CADSM'2015, Polyana-Svalyava (Zakarpattia), Ukraine), Сьома міжнародна науково-технічна конференція "Проблеми інформатизації", 12 грудня 2016 р.

Публікації. Основні результати дисертаційної роботи опубліковані в дев'яти наукових статтях. З них вісім наукових статей опубліковано в наукових фахових виданнях України [1-4, 6-9] та одна стаття у зарубіжному фаховому виданні [5].

Матеріали дисертаційних досліджень опубліковано у шести збірниках вітчизняних та міжнародних науково-технічних конференцій, в тому числі й публікації, проіндексовані у наукометричних базах IEEExplore та SCOPUS.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу та чотирьох розділів. Загальний обсяг роботи становить 147 сторінок, в тому числі 126 сторінок основного тексту, 28 рисунків та 16 таблиць на 35 сторінках. Список використаних джерел містить 147 найменувань, викладених на 14 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

У **вступі** розкрито стан досліджуваної проблеми, обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, визначено основну мету досліджень та науково-практичні задачі, що необхідно вирішити для досягнення поставленої мети. Наведено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів. Надано дані щодо апробації та впровадження отриманих результатів досліджень і публікацій автора за темою дисертаційної роботи.

У **першому розділі** наведено аналіз архітектури мереж з підтримкою технології NFV, проведено огляд функціонування та основних складових компонент архітектури NFV, наведено поширені механізми взаємодії між компонентами, а також сценарії формування та надання послуг. Наведено аналіз існуючої документації, рекомендацій та практичних рішень впровадження технології віртуалізованих мереж, зокрема технології NFV. За результатами аналізу встановлено, що відсутність стандартів та уніфікованих рішень щодо процесів розробки та впровадження віртуалізованих мереж сприяє виникненню ряду помилок, що призводить до деградації якості обслуговування.

Детальний аналіз формування графу надання послуг, що є невід'ємною складовою процесу надання послуг у віртуалізованих мережах з підтримкою технології NFV, показав, що значний вплив на рівень якості обслуговування мають фізичні характеристики мережевого обладнання, особливості протоколів та функцій, що закладено в елементи управління віртуалізованою мережею. Так, функціональні особливості гіпервізорів суттєво різняться, також різняться і механізми формування та комутації віртуальних каналів. Мережі з підтримкою технології NFV мають широкі можливості щодо надання різних типів послуг за рахунок динамічної зміни їх складу. Однак існуючі методи управління мережею та формування послуг не враховують обмеження фізичних характеристик мережі, що негативно впливає на результуючий рівень якості обслуговування, який у ряді випадків, не співпадає з очікуваним результатом.

Для підвищення ефективності та забезпечення доступності послуг у існуючих мережах з підтримкою технології NFV, а також при розробці нових NFV рішень необхідно впровадження математичних методів та моделей, що дозволять значно скоротити кількість можливих помилок у процесі функціонування та підвищити ступінь конвергенції елементів інфраструктури NFV. Запропоновано ряд моделей та методів, що дозволяють виявити помилки на різних стадіях розробки та впровадження, а також превентивно оцінити якість надання послуг.

У другому розділі з метою підтримки гарантованої якості надання мережевих сервісів та раціонального розподілу ресурсів рішення задачі управління запропоновано звести до розробки математичної моделі та методу формування комплексного сервісу та оптимізації процесів його надання; удосконалено метод динамічного балансування мережевого навантаження. При оцінці сумарної якості надання сервісів запропоновано враховувати наступні характеристики:

1) продуктивність: ефективність функціонування віртуальних обчислювальних ресурсів / вузлів.

2) доступність: швидкість формування віртуалізованої мережевої інфраструктури і відновлення після збоїв.

3) надійність: відмовостійкість функціонування IaaS компонент.

При моделюванні мережевої інфраструктури за допомогою теорії мережевого обчислення, визначення основних складових моделі і їх функціональних особливостей є першочерговим завданням.

Елементи реалізації NFV рішення при моделюванні відповідно до основами мережевої обчислення можуть бути представлені таким чином:

1. Вузли-обробники (сервери додатків, VM, віртуалізовані маршрутизатори, комутатори, файєрволи). Залежно від деталізації вузли-розробники можуть бути представлені одиничними елементами або їх комбінацією (однією VM або цілим кластером). Вузли-обробники характеризується кривою обслуговування (service curve), кривою відставання (backlogged / busy period) і затримки (delay).
2. Крива навантаження $I(\square t)$ – це функція, що зростає, яка характеризується відхиленням поточного обсягу $V_{serv}(t_i)$ даних, що надходять в момент часу t_i від даних, що надійшли в попередній момент $V_{serv}(t_i - t_0)$.

Крива навантаження дозволяє оцінити зміну обсягу оброблюваних даних в певний момент часу, а, отже, і зміну часу обробки даних (t_{serv}):

$$f(I(\square t)) = \frac{dI(t_i)}{dt} = \lim_{b \rightarrow y} \frac{(V_{serv}(t_i) + b) - V_{serv}(t_i - t_0)}{b}, \quad (1)$$

де b - інтенсивність збільшення / зменшення обсягу переданих даних, $V_{serv}(t_i)$ - обсяг даних в бітах, які прийшли на вузол-обробник в момент часу t_i , $V_{serv}(t_i - t_0)$ - обсяг даних в бітах, які прийшли на вузол-обробник в момент часу $t_i - t_0$.

Система MANO, як єдиний центр управління та моніторингу, приймає управлінські рішення на підставі інформації про криву навантаження і криву обслуговування. У процесі аналізу фрагмента мережевої інфраструктури від Nf-Vi до Op-Vi типу вузли-споживачі - вузли-обробники - пристрій надання сервісу вважаються логічними кінцевими і ланками, а вузли $2 < n < N-1$ є проміжними вузлами-обробниками NFVM, найчастіше їх роль виконують маршрутизатори, шлюзи доступу, керовані і некеровані комутатори (Рис. 1).

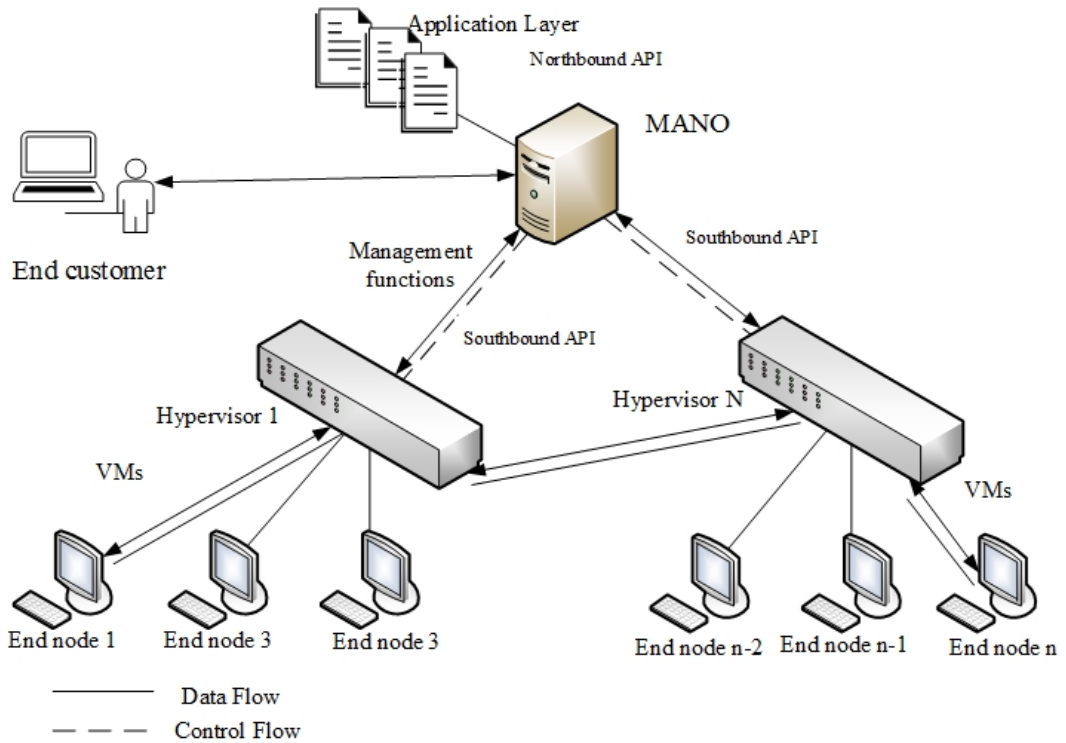


Рис. 1. Фрагмент мережі з підтримкою функцій віртуалізації

На Рис. 2 приведена модель фрагмента мережевої інфраструктури, для якої характерна передача агрегованих потоків даних.

Кожен потік даних ($R1-R3$), що надходить з вузла-споживача або попереднього вузла-обробника має свої власні характеристики і задається індивідуальною кривою навантаження ($I_1(t_i), I_2(t_i), I_3(t_i)$). У разі агрегації сумарний мультипотік, що містить безліч потоків, які належать одному класу обслуговування, визначається узагальненими характеристиками і повинен бути описаний узагальненою кривою навантаження. Вид кривої прибуття залежить від специфікації класу трафіку і характеризується узагальненими показниками (\max_r, \max_M, \max_b): $F_N(t_{setup}) = \max_{n=1,2,3} pt + \max_{n=1,2,3} b$.

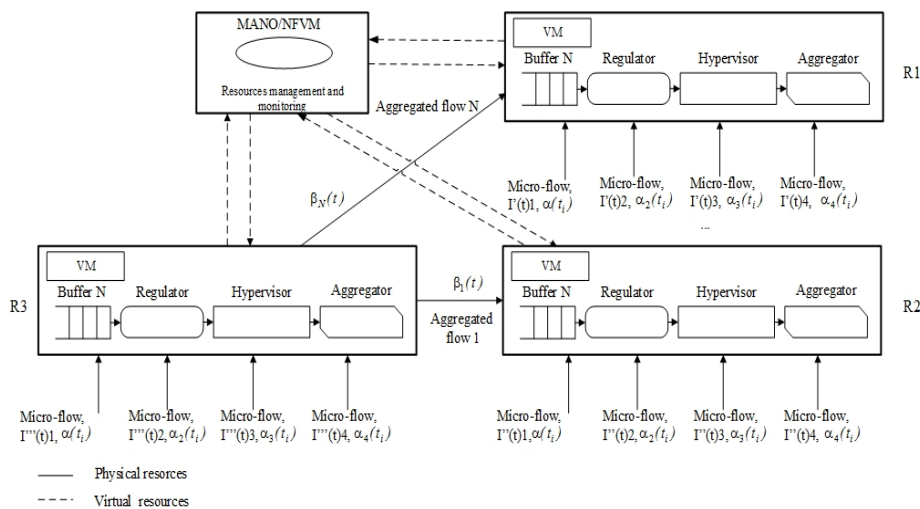


Рис.2. Структурна схема при агрегуванні декількох потоків даних

При обробці агрегованого потоку вузлом-обробником кожен потік має свій пріоритет обслуговування, який визначений ToS. Від пріоритету обслуговування залежить політика розподілу обчислювальних ресурсів при обробці кожного потоку (швидкість обробки, значення затримки, час запізнювання). Швидкість обробки вузлом-обробником потоку, в залежності від його пріоритету, може бути оцінена за допомогою наступного рівняння:

$$r_i = \frac{\phi_i B_N(t_i)}{\sum_{j=0}^n \phi_j} S_N(t_i), \quad (2)$$

де ϕ_i - пріоритет потоку даних при обслуговуванні вузлом-обробником, $S_N(t_i)$ - поточне значення продуктивності N -го вузла-обробника, $B_N(t_i)$ - затримка при обробці потоків даних.

У **третьому розділі** з метою забезпечення гарантованої якості обслуговування у мультисервісній мережі з підтримкою технології NFV удосконалено метод динамічного розподілу пропускної здатності каналів передачі даних. У рамках вирішення поставленої задачі проведено аналіз існуючих методів реплікації сервісів, наведено їх переваги та недоліки. Визначено, що основним критерієм, що має найбільший вплив на результуюче значення якості обслуговування є показник доступності сервісів.

Забезпечення необхідних показників якості часто зводиться до вирішення оптимізаційної задачі при формуванні сервісів.

Для покриття всієї області рішень по забезпеченню заданої якості обслуговування необхідна розробка методу підвищення рівня QoS, в разі відсутності сервісів з необхідним рівнем якості обслуговування.

Для вирішення поставленого завдання в роботі запропоновано математичний метод формування розподіленого комплексного сервісу на базі інформації про наявні в мережі атомарні сервіси.

В основі запропонованого методу лежить ідея формування комплексного сервісу CS (Complex Service), що складається з декількох сервісів з безлічі доступних сервісів, показники якості яких нижче заданих норм, одночасне використання яких дозволить підвищити доступність сервісу:

$$\begin{aligned} CS_i \subset SS, \quad SS_i = \{CS_1, CS_2, \dots, CS_i, \dots, CS_n\}, \\ CS_i = \{S_w, S_{w+1}, \dots, S_{w+y}\}, \end{aligned} \quad (3)$$

де i – номер комплексного сервісу в множині CS , w – номер сервісу у вибраній підмножині P_i , z – кількість сервісів в підмножині P_i , y – будь-яке число від 1 до $(z-w)$, при цьому можлива ситуація, коли $CS_i \cap CS_{i+1} \neq \emptyset$.

Розподілений комплексний сервіс може бути представлений у вигляді об'єднання безлічі сервісів P_i . При цьому, QoS параметри атомарних сервісів P_i можуть мати значення нижче необхідних, проте, за рахунок їх одночасного використання, сумарні показники продуктивності розподіленого сервісу зростають.

Структурна схема методу формування та зміни складових комплексного сервісу зображено на рис.3.

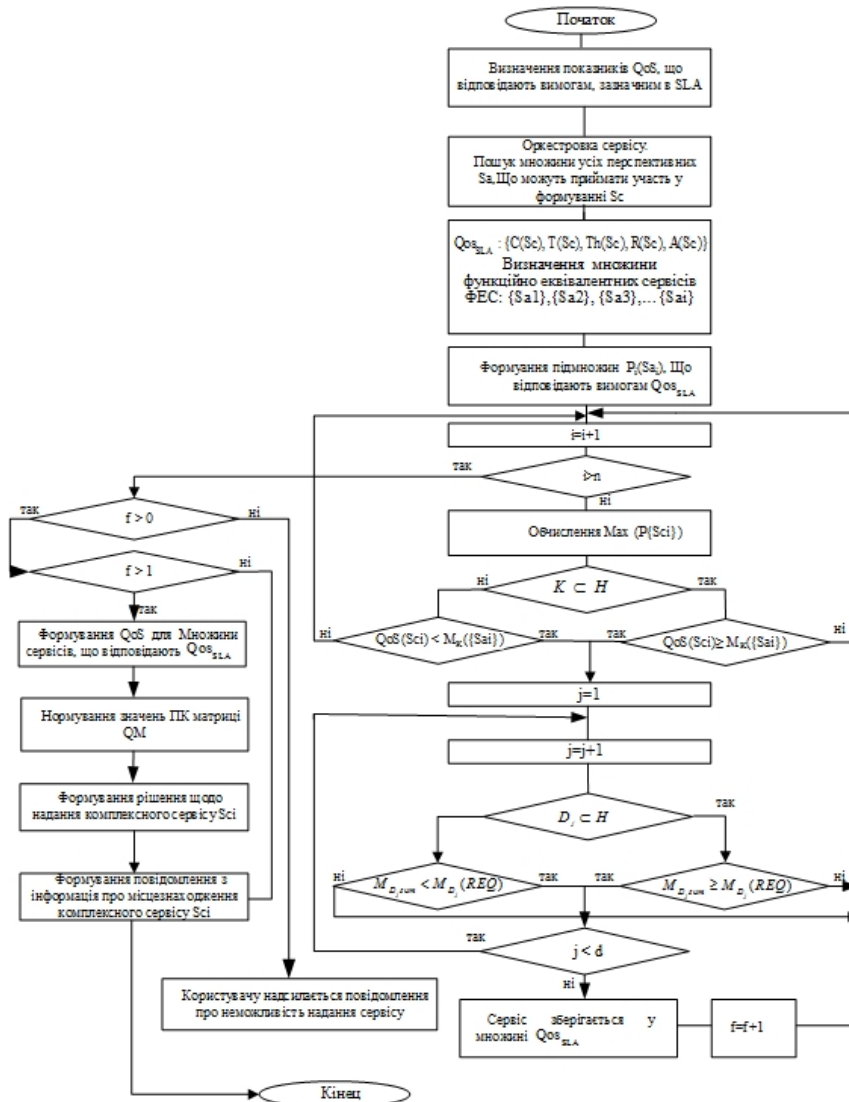


Рис.3. Метод формування складу комплексного сервісу з урахуванням показників якості обслуговування

Завдання ефективного розподілу пропускної здатності каналів зв'язку можна відобразити у формулі:

$$Q(A^{IN}, R_{in\alpha}, R_{out\alpha}) \rightarrow \max_{CP_{NL}}, \quad (4)$$

де $Q()$ – цільова функція чи функція оптимізації, A^{IN} – сумарний потік вхідного трафіку, $R_{in\alpha}$ и $R_{out\alpha}$ – пропускні спроможності каналів зв'язку зовнішньої мережі і внутрішньої мережі, CP_{NL} – політика управління мережевим навантаженням (вибір каналу зв'язку). В даному випадку завдання оптимізації можна звести до наступного вигляду [116]:

$$A^{IN} \rightarrow \max_{CP_{NL}} | R_{in\alpha}, R_{out\alpha}. \quad (5)$$

Оптимального розподілу пропускної здатності можна досягнути, відповідно до запропонованого методу, шляхом розподілу потоків трафіку всіма допустимими

каналами зв'язку пропорційно доступним пропускним здібностям цих каналів в поточний момент часу або у момент часу надходження заявки.

Передбачається, що для кожного потоку доступні n каналів зв'язку. Вибір каналу зв'язку ґрунтується на значенні його пропускної здатності. Вибір політики розподілу пропускних здатностей каналів зв'язку залежить від початкових QoS вимог до потоку даних (пріоритетність запиту).

У загальному випадку загальний потік можна розподілити по каналах зв'язку, з огляду на таку залежність:

$$\frac{\lambda_1}{\mu_{ch1}} = \frac{\lambda_2}{\mu_{ch2}} = \dots = \frac{\lambda_n}{\mu_{chn}} = \rho \mid \sum_{i=1}^{N_{дост}} \lambda_i = A^{IN}, \sum_{i=1}^{N_{дост}} \mu_{chi} = C, \quad (6)$$

де ρ – завантаженість каналів зв'язку, $N_{дост}$ – кількість доступних каналів зв'язку, λ_i – інтенсивність трафіку для i - того каналу зв'язку, μ_{chi} – пропускна здатність i - того каналу зв'язку.

Структурна схема методу динамічного розподілу пропускної здатності каналів передачі даних у віртуалізованих мережах наведено на рис.4.

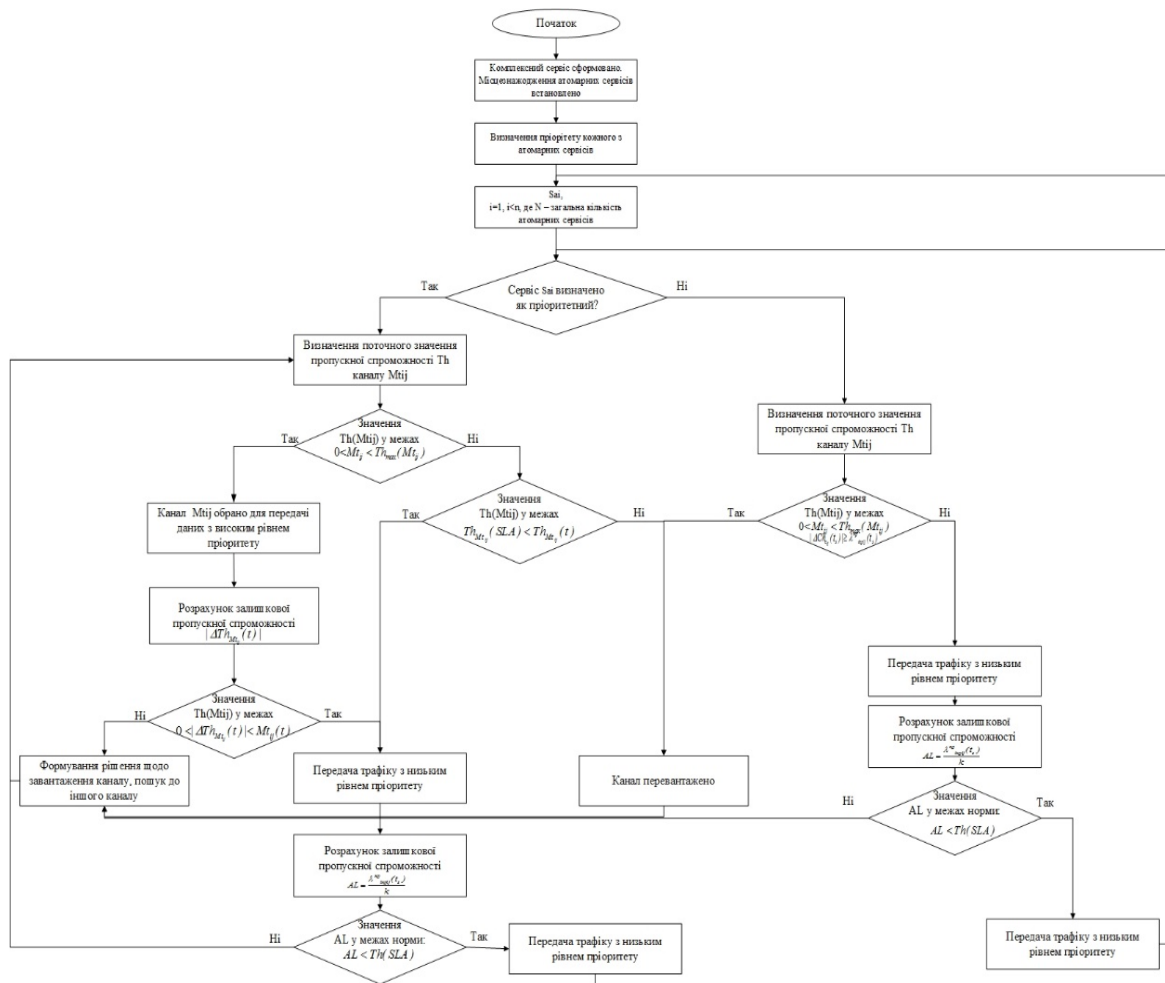


Рис. 4. Структурна схема методу динамічного розподілу пропускної здатності каналів передачі даних у мультисервісній мережі з підтримкою функцій віртуалізації

Застосування запропонованого методу дозволяє уникнути перевантаження каналів передачі за рахунок того, що залишкова вартість полоси пропускання каналу використовується для передачі даних з низьким пріоритетом. Отримані результати вказують на те, що запропонований алгоритм балансування навантаження дозволяє підвищити ефективність використання каналів передачі на 7% та зменшити середню затримку загалом на 16% у порівнянні з динамічним алгоритмом Central Queuing.

Четвертий розділ присвячено удосконаленню методів реплікації сервісів в мультисервісних мережах.

Механізм реплікації включає в себе обмін інформацією між серверами, що надають послуги, з подальшим копіюванням даних або послуг, розподілом і узгодженням їх на розподілених обчислювальних вузлах.

Структурна схема розподіленої мультисервісної мережі з підтримкою реплікації приведена на рис. 5.

Нині велика кількість робіт направлена на пошук оптимальних механізмів реплікації даних в хмарній мережевій інфраструктурі. В цілому, в залежності від топології і масштабів мережі, а також географічно розподілених серверів найбільш широкое застосування знайшли такі стратегії реплікації: статичні і динамічні реплікації даних, централізовані і децентралізовані, синхронні і асинхронні.

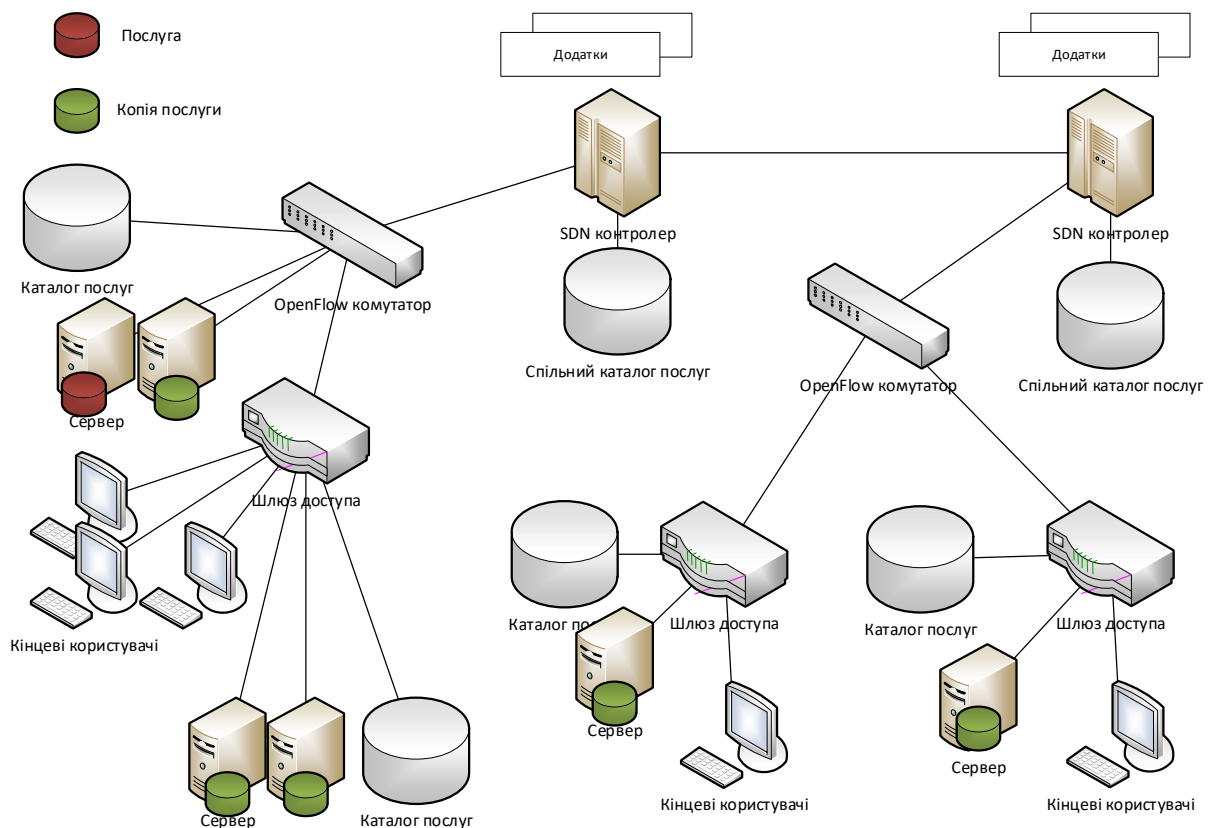


Рис. 5. Розташування реєстрів сервісів у фрагменті NFV мережі

Найчастіше запитувана користувачем послуга знаходиться на віддаленому сервері. Таким чином, серверу необхідно обслужити як ряд локальних запитів, так і ряд віддалених запитів без прогнозованого рівня доступності. Поряд з цим, при

зростанні кількості запитів, продуктивність віддаленого сервера може значно скоротитися, що може спричинити за собою деградацію якості послуг.

Кількість реплік, створення яких необхідно для підтримки заданого рівня доступності сервісу запропоновано розраховувати наступним чином:

$$Av_{new}(CS_i) = Av_{old}(CS_i) + K(1 - Av_{old}(CS_i)), K \in [0,1], \quad (7)$$

де $Av_{old}(CS_i)$ - доступність послуги до реплікації, $Av_{new}(CS_i)$ - доступність послуги після реплікації, K - ваговий коефіцієнт.

Значення вагового коефіцієнта розраховується наступним чином:

$$K = \frac{F(CS_i)}{\sum_{k=1}^n F(CS_k)}, CS_i \notin \{CS_k\}, \quad (8)$$

де n – загальна кількість реплік послуг, не включаючи послугу CS_i .

З метою забезпечення гарантованої якості послуг в процесі реплікації, дані переносяться в той фрагмент мережі, де популярність послуги перевищує граничну межу. На підставі територіальної ознаки репліки можуть бути розділені на локальні і віддалені.

Приклад розподілу реплік послуги наведено на Рис. 6. У даному сценарії передбачається, що існує кілька реплік послуги CS_1 в тому ж фрагменті мережі, де розташована послуга.

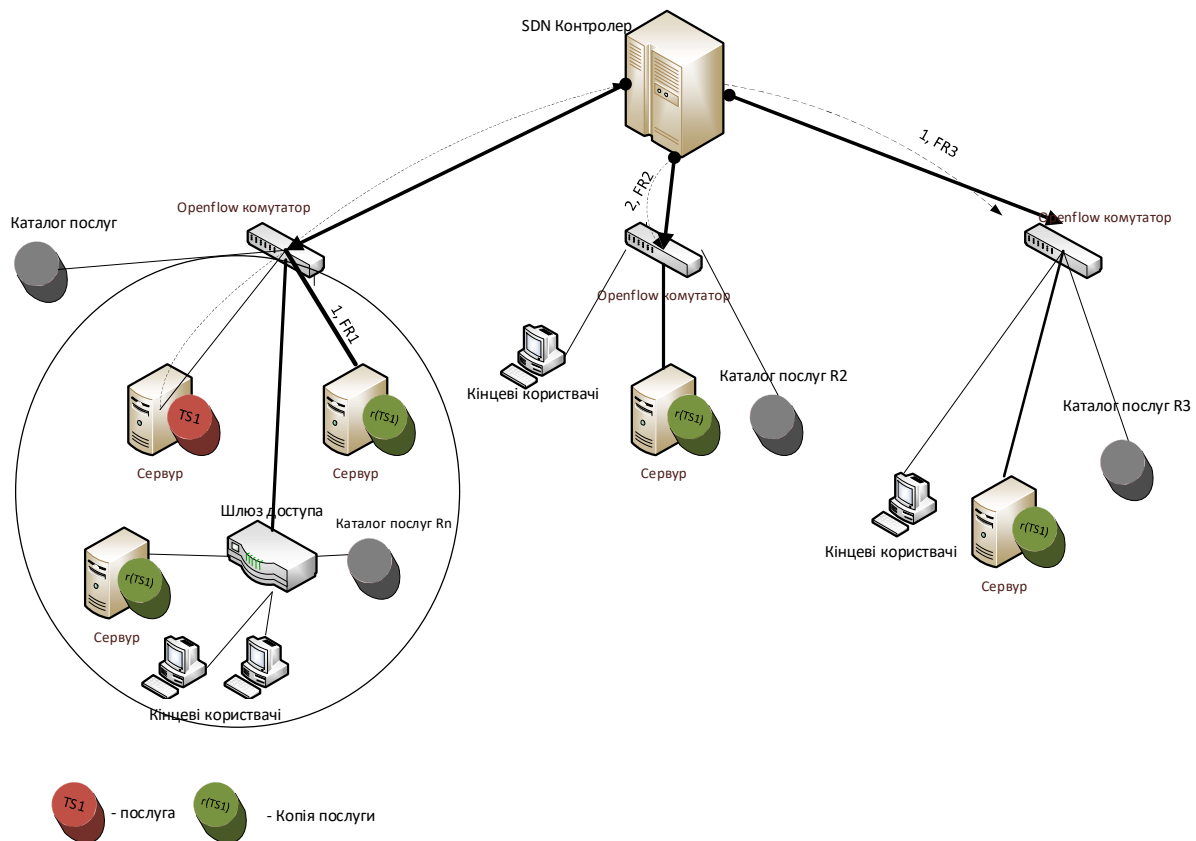


Рис. 6. Розподіл копій послуги в залежності від фактору реплікації

На підставі аналізу популярності сервісу сформовано рішення про необхідність формування чотирьох додаткових копій послуги. В рамках наведеного прикладу фактор реплікації $F(CS_i)$ послуги для різних зон склав:

$$F_{R_1}(TS_i) = 3,14,$$

$$F_{R_2}(TS_i) = 2,57,$$

$$F_{R_3}(TS_i) = 1,43,$$

...

$$F_{R_n}(TS_i) = 0.$$

Розподіл реплік на підставі даної інформації здійснюється наступним чином:

$$\begin{aligned} n_{R_1}(TS_i) &= \left\lfloor \left(\frac{3,14}{3,14 + 2,57 + 1,43} \right) \times 4 \right\rfloor = 2, \\ n_{R_2}(TS_i) &= \left\lfloor \left(\frac{2,57}{3,14 + 2,57 + 1,43} \right) \times 4 \right\rfloor = 1, \\ n_{R_3}(TS_i) &= \left\lfloor \left(\frac{1,43}{3,14 + 2,57 + 1,43} \right) \times 4 \right\rfloor = 1, \\ n_{R_m}(TS_i) &= 0. \end{aligned} \tag{9}$$

Виходячи з отриманих результатів, дві сформовані репліки залишаються в локальному фрагменті мережі, а три копії розподіляються між R_2 і R_3 .

Перед початком проведення операції реплікації, реєстр переглядає свою базу даних на наявність сервера, який має ресурси, необхідні для розміщення даної репліки. У випадку наявності такого серверу, реєстр надсилає запит до сервісу CS_i на створення копії, при цьому в запиті він вказує місце розташування для майбутньої копії.

Після проведення операції реплікації, реєстру відправляється відповідь, в якій вказується, чи була успішно виконана дана процедура і адреса для реєстрації репліки.

Реплікація може бути скасована і реєстр направлений до перевірки лічильника наступного сервісу у випадку, коли в базі даних реєстру не виявлений доступний сервер.

З метою підтримки високого рівня продуктивності мережі поряд із завданням формування реплік необхідно розглянути завдання їх видалення. Завдання видалення реплік є протилежним завданню прийняття рішення про необхідність створення.

При видаленні репліки комплексної послуги або атомарного сервісу слід проаналізувати залежність між $CS_{ij}(lenght)$ и $CS_{ij}(r_lenght)$. Зважаючи на вказані значення, необхідно слідкувати за тим, щоб видалення послуги не нівелювало вигоду процесу реплікації. Наприклад, якщо послуга знаходиться на віддаленому сервері і в процесі її реплікації повинні бути передані великі обсяги даних, то видалення послуги не бажане і навпаки, якщо кількість даних, переданих під час

синхронізації реплік послуги велика, а популярність послуги невелика, то репліка видаляється.

Співвідношення, що дозволяє визначити поріг видалення репліки, задане наступним чином:

$$\sum n(CS_{ij_{mod}}(length)) < \sum m(CS(length)), \quad (10)$$

де $\sum n(CS_{ij_{mod}}(length))$ – сумарний об’єм даних, які будуть надсилатися на репліку послуги TS_{ij} при необхідності синхронізації реплік; $\sum m(CS(length))$ – сумарний обсяг даних, які будуть пересилатися між віддаленим обчислювальним пристроєм або користувачем і первинним екземпляром послуги в разі відсутності репліки.

Маючи інформацію про обсяг трафіку, створюваного оновленнями між репліками і трафіком, який буде виникати за рахунок виконання запитів віддалених користувачів в разі відсутності реплік сервісу можна оцінити необхідні рівні порога реплікації і видалення з метою отримання максимальної ефективності методу реплікації.

Алгоритм динамічної реплікації (стадія формування і видалення реплік) наведено на Рис. 7.

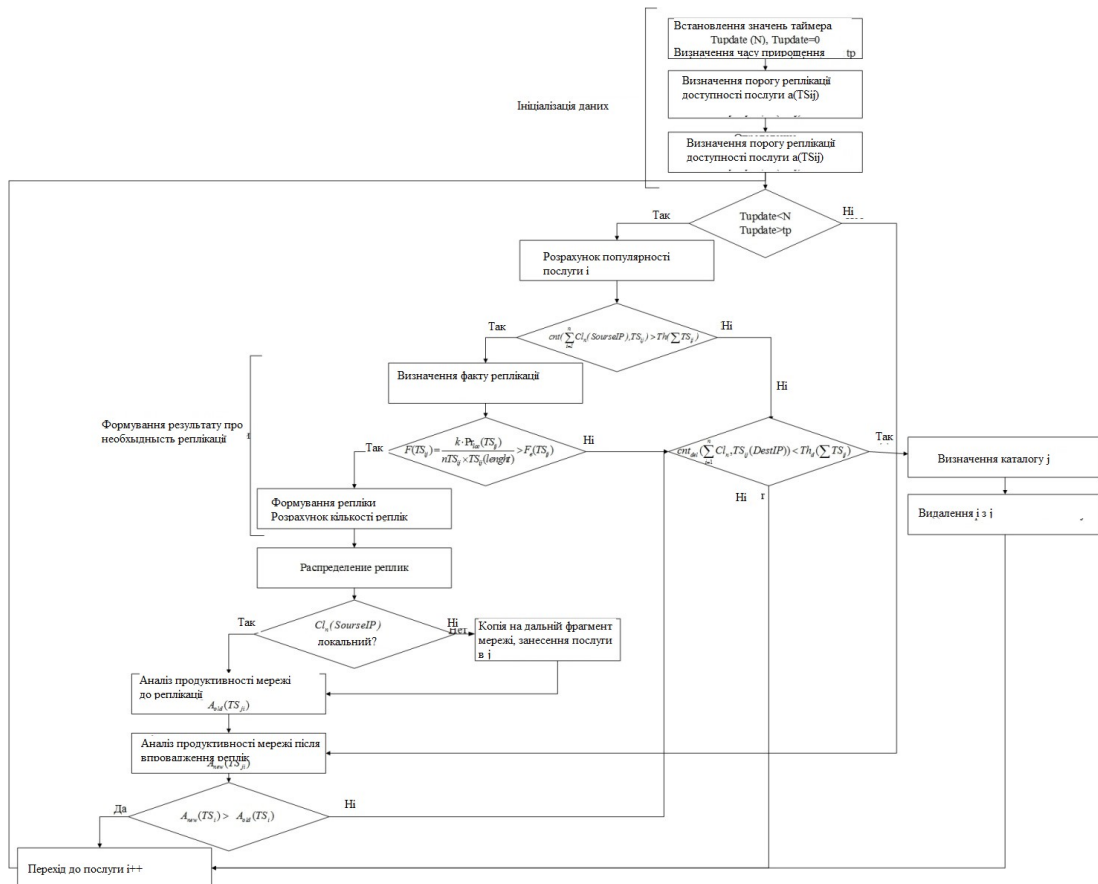


Рис. 7. Алгоритм динамічної реплікації (процес формування і видалення реплік) в мультисервісних мережах з підтримкою концепції NFV

Параметри, введені в рамках алгоритму: N - тривалість тимчасового інтервалу протягом якого брокер реплікації зберігає інформацію значення лічильника; tp – час збільшення при зборі інформації про популярність послуги, $t_p \leq N$; i – номер послуги в реєстрі; j – номер каталогу послуг; $cnt(\sum_{i=1}^n Cl_n(SourseIP), CS_{ij})$ – лічильник сервісу S_i ; $F(CS_i)$ - фактор реплікації, $Th(\sum CS_{ij})$ - поріг реплікації, $Th_d(\sum CS_{ij})$ - поріг віддалення репліки, - фактор реплікації, $Cl_n(SourseIP)$ - джерела запитів найбільшої інтенсивності, - поріг $F_e(CS_{ij})$ - фактор реплікації, $cnt_{del}(\sum_{i=1}^n Cl_n, CS_{ij}(DestIP))$ - лічильник запитів на послуги, які передані на обслуговування серверу $CS_{ij}(DestIP)$.

Якщо репліка є видаленою, то реєстр LIST відправляє повідомлення про видалення репліки на віддалений реєстр $R_{rem j}$, в області обслуговування якого зберігається первинний примірник сервісу $S_i^{rem j}$. Після отримання повідомлення, віддалений реєстр $R_{rem j}$ видаляє з опису первинного екземпляра сервісу інформацію про позначки копії і її місце розташування. По закінченню процедури перевірки всі лічильники обнуляються $cnt(R, F_i) = 0$, а таймеру T присвоюється значення N .

Розроблено метод динамічної реплікації, який дозволяє підвищити доступність послуг в NFV мережах, в разі зростання їхньої популярності. Застосування методу передбачає можливість виконання двох видів реплікації: локальної і віддаленої. Основними регуляторами алгоритму динамічної реплікації виступають поріг реплікації і поріг видалення.

ВИСНОВКИ

В роботі розв'язана **актуальна науково-прикладна задача**, що полягає у розробці нових та вдосконаленні існуючих методів аналізу розподілу мережевих ресурсів; оцінки коректності функціонування та надання послуг у мультисервісних мережах з підтримкою технології NFV.

За підсумками вирішення науково-прикладної задачі зроблені наступні висновки:

1. Аналіз поточного стану та перспектив розвитку мультисервісних мереж з підтримкою функцій віртуалізації показав, що ключовими в процесі надання сервісів є наступні чинники: ефективність системи управління і фізичні характеристики мережевого обладнання та каналів передачі даних. Надання сервісів заданого рівня якості можливо лише в разі узгодженої взаємодії компонентів мережевої інфраструктури і коректного розподілу мережевих ресурсів.
2. Розроблено метод динамічної реплікації сервісів в мережах з підтримкою функцій віртуалізації мережевих ресурсів, який за рахунок використання теорії мережевого обчислення дозволяє підвищити доступність і ефективність надання

сервісів за рахунок своєчасного формування, видалення копій різних типів сервісів і їх раціонального розподілу між фрагментами мережі.

3. Проведений аналіз методів формування комплексних сервісів показав широкі можливості в управлінні рівнем якості обслуговування за рахунок зміни складу комплексних сервісів. Тому було удосконалено метод формування та управління складом комплексних сервісів в мережах з підтримкою функцій віртуалізації шляхом урахування поточного стану ресурсів мережі під час формування і управління складом сервісів, що дозволяє забезпечити необхідний рівень якості обслуговування у відповідності до погодженого договору про якість обслуговування. Удосконалений метод дозволяє формувати і управляти складом комплексного сервісу за рахунок обліку показників якості складових комплексного сервісу, моніторингу та своєчасної їх заміни, що дозволяє забезпечити необхідний рівень QoS.

4. Набув подальшого розвитку метод динамічного розподілу пропускної здатності каналів передачі даних у NFV мережах, що базується на принципах розподілення залишкової пропускної спроможності. Застосування даного методу дозволяє уникнути повного завантаження та перевантаження каналу передачі.

5. Удосконалено метод балансування навантаження в мережі з підтримкою віртуалізації мережевих ресурсів за рахунок ранжування сервісів по якості їх надання та необхідній пропускній здатності та послідовного перерозподілу наявних вільних мережевих ресурсів, що дозволяє на основі аналізу поточного навантаження як на віртуальну, так і на фізичну складову мультисервісної мережі забезпечити заданий рівень якості обслуговування з меншими накладними витратами.

6. З метою забезпечення необхідного рівня доступності сервісів, згідно з розробленим комплексом моделей і методів, запропонована методика управління запитами користувачів в мережах з підтримкою віртуалізації мережевих функцій

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Abdulghafoor Raed Yahya. Performance analysis of load balancing mechanisms in Software-Defined Networking / О.В.Тkachova, Abdulghafoor Raed Yahya, Hassan Mohamed Muhi-Aldeen // *Radiotekhnika: All-Ukr. Sci. Interdep. Mag.* –№187, – 2016.– P.197-203.

2. Мухи-Алдин Х.М. Комплексный метод повышения доступности сервисов в программно-конфигурируемых сетях, основанный на динамической репликации [Электронный ресурс] / Х.М. Мухи-Алдин, Е.Б. Ткачова, М.Т. Салах // *Проблеми телекомунікацій.* – 2016. – № 2 (19). – С. 81 - 93. – Режим доступа к журн.: http://pt.journal.kh.ua/2016/2/1/162_tkachova_rep.pdf.

3. Ткачева Е.Б. Применение теории сетевого исчисления при моделировании программно-конфигурируемых сетей / Е.Б. Ткачева, Е.В. Дуравкин, Х.М. Мухи-Алдин // *Системи управління, навігації та зв'язку.* – 2017 – №6 (46) – С. 136-141/

4. Ткачева Е.Б. Адаптивный алгоритм перераспределения сетевых ресурсов в сетях с поддержкой технологии NFV / Е.Б. Ткачева, Х.М. Мухи-Алдин // *Радиотехника: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб.* – 2017. – Вып. 191– С. 135-141.

5. Hassan Mohamed Muhi-Aldeen. A method of modeling a behavior of NFV infrastructure based on network calculus theory / Hassan Mohamed Muhi-Aldeen // *Scholars Journal of Engineering and Technology (SJET) ISSN 2321-435X (Online) Sch. J. Eng. Tech.* – Vol 4(11). – 2017. – Pp. 517-524.

6. Хассан Мохамед Мухи-Алдин. Методология построения корреляционных алгоритмов классификация сетевого трафика / *Міжвузівський збірник "Наукові нотатки"*. Луцьк, 2018. – Випуск № 64.

7. Хассан Мохамед Мухи-Алдин. Комплексный метод динамической репликации данных в программно-конфигурируемых сетях / Мухи Алдин Хассан Мохамед, Е. Б. Ткачева // *Вчені записки Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського. Серія: Технічні науки* . – Том 29 (68) № 5. – 2018.

8. Hassan Mohamed Muhi-Aldeen. A method of network resource allocation in the networks supporting NFV technology / О.В. Tkachova // *Науковий журнал "Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво"* Луцьк, 2018. Випуск № 33 – С.5-11.

9. Хассан Мохамед Мухи-Алдин. Модель оцінки підвищення енергоефективності підсистем базових станцій оператора стільникового зв'язку. Одарченко Р.С., Мухі- Алдін Хассан Мохамед, О.О. Полігенько, Ю. І. Хлапонін. *Вісник інженерної академії*, 2019. № 3. С. 72-74.

10. Abdulghafoor Raed Yahya. A network load balancing algorithm for overlay-based SDN solutions / Abdulghafoor Raed Yahya, О.В. Tkachova // *Second International IEEE Conference «Problems of Infocommunications. Science and Technology» PICS&T–2016, 4–7 October 2016: proc. of the conf.* – Kharkiv, Ukraine, 2016. – Pp.1-4.

11. Мухі-Алдін Хассан Мохамед, Хлапонін Ю. І. Метод динамічної реплікації даних в мережах з підтримкою функцій віртуалізації. Сьома міжнародна науково-технічна конференція "Проблеми інформатизації", 12 грудня 2016 р., тези доп. – С. 94, м. Київ.

12. Abdulghafoor Raed Yahya. An evaluation of load distribution between servers' platforms inside a data center / Abdulghafoor Raed Yahya, О.В. Tkachova // *14th International Conference The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics (CADSM), 21-25 February, 2017* – P. 357-359.

13. Ткачева Е.Б., Мухи-Алдин Х.М. Анализ сценариев оркестровки сервисов в облачных технологиях / Е.Б. Ткачева, Мухи-Алдин Х.М. // *Інформаційна безпека та комп'ютерні технології: Збірник тез доповідей II Міжнародної науково-практичної конференції, 20-22 квітня 2017 року, м. Кропивницький: ЦНТУ, 2017.* – С. 173-175.

14. Мухи-Алдин Хассан Мохамед. Модель оценки показателей качества обслуживания в облачных решениях // *Інформатика, математика, автоматика. Матеріали науково-технічної конференції, 17-21 квітня 2017 р.* – Суми: Сумський державний університет, 2017. – С. 104.

15. Tkachova O. An Method of Service Composition with Optimal Resources Allocation in Software-Defined Networking / О.Тkachova, Іе. Duravkin, Mohamed Muhi-Aldeen Hassan // *Forth International IEEE Conference «Problems of Infocommunications. Science and Technology» PICS&T–2017, 10–13 October 2017 proc. of the conf.* – Kharkiv, Ukraine, 2017. – Pp.1-4.

АНОТАЦІЯ

Мухі-Алді́н Хассан Мохамед Моделі та методи забезпечення якості обслуговування у мережах з підтримкою функцій віртуалізації – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.02 – Телекомунікаційні системи та мережі (технічні науки). Національний авіаційний університет, Київ, 2020.

В роботі розв'язана **актуальна науково-прикладна задача**, що полягає у розробці нових та вдосконаленні існуючих методів аналізу розподілу мережевих ресурсів; оцінки коректності функціонування та надання послуг у мультисервісних мережах з підтримкою технології NFV.

7. Для вирішення науково-прикладної задачі удосконалено: метод динамічного управління складом комплексних сервісів за рахунок зміни їх складових у NFV мережах, який дозволяє формувати та управляти складом комплексного сервісу з урахуванням поточного стану складових сервісів при формуванні комплексного сервісу, що призводить до забезпечення необхідного рівня QoS; розроблено метод динамічного розподілу пропускної спроможності каналів зв'язку у NFV мережах, що базується на принципах розподілення залишкової пропускної спроможності та дозволяє уникнути повного завантаження та перевантаження каналу передачі; Розроблено метод динамічної реплікації сервісів в мережах з підтримкою функцій віртуалізації мережевих ресурсів, який за рахунок використання теорії мережевого обчислення дозволяє підвищити доступність і ефективність надання сервісів за рахунок своєчасного формування, видалення копій різних типів сервісів і їх раціонального розподілу між фрагментами мережі.

Визначено, що запропонований метод балансування навантаження дозволяє підвищити ефективність використання каналів передачі на 7% та зменшити середню затримку загалом на 16% у порівнянні з динамічним алгоритмом Central Queuing, а застосування розробленого методу реплікації сервісів дозволяє підвищити доступність сервісу в 14 разів у випадку перевантажень.

З метою аналізу ефективності розподілу мережевих ресурсів запропоновано проводити аналіз функціональних та нефункціональних властивостей сервісу за допомогою модельного підходу. У якості математичного апарату моделювання запропоновано використовувати апарат Е-мереж.

Запропоновані математичні моделі і методи можуть бути використані під час розробки, впровадження та підтримки мультисервісних мереж, що базуються на хмарному підході з використанням технології віртуалізації мережевих функцій.

Ключові слова: пропускна здатність, віртуалізація мережевих функцій, система управління та оркестровки, якість обслуговування, комплексний сервіс, балансування навантаження.

АННОТАЦИЯ

***Мухи-Алдин Хассан Мохамед* Модели и методы обеспечения качества обслуживания в сетях с поддержкой функций виртуализации - Рукопись.**

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.02 - Телекоммуникационные системы и сети (технические науки). Национальный авиационный университет, Киев, 2020.

В работе решена актуальная научно-прикладная задача, которая заключается в разработке новых и совершенствовании существующих методов анализа распределения сетевых ресурсов; оценки корректности функционирования и предоставления услуг в мультисервисных сетях с поддержкой технологии NFV.

Для решения научно-прикладной задачи: усовершенствован метод динамического управления составом комплексных сервисов за счет изменения их составляющих в NFV сетях, который позволяет формировать и управлять составом комплексного сервиса с учетом текущего состояния составляющих сервисов при формировании комплексного сервиса, что приводит к обеспечению необходимого уровня QoS; метод динамического распределения пропускной способности каналов связи в NFV сетях, основанный на принципах распределения остаточной пропускной способности и позволяет избежать полной загрузки и перегрузки канала передачи; разработан метод динамической репликации сервисов, который позволяет повысить доступность сервисов при росте популярности сервиса в сети с поддержкой функций виртуализации сетевых ресурсов.

Определено, что предложенный метод балансировки нагрузки позволяет повысить эффективность использования каналов передачи на 7% и уменьшить среднюю задержку в среднем на 16% по сравнению с динамическим алгоритмом Central Queuing, а применение разработанного метода репликации сервисов позволяет повысить доступность сервиса в 14 раз в случае перегрузок.

С целью анализа эффективности распределения сетевых ресурсов предложено проводить анализ функциональных и нефункциональных свойств сервиса с помощью модельного подхода. В качестве математического аппарата моделирования предложено использовать аппарат E-сетей.

Предложенные математические модели и методы могут быть использованы при разработке, внедрении и поддержке мультисервисных сетей, базирующихся на облачном подходе с использованием технологии виртуализации сетевых функций.

Ключевые слова: пропускная способность, виртуализация сетевых функций, система управления и оркестровки, качество обслуживания, комплексный сервис, балансировка нагрузки.

ANNOTATION

***Mohi-Aldin Hassan Mohammed* Models and methods of providing quality of services in network with virtualization support - As a manuscript.**

Dissertation for the degree of candidate of technical sciences, specialty 05.12.02 - Telecommunication systems and networks (Engineering Sciences). National Aviation University, Kyiv, 2020.

The actual scientific and applied problem is solved in the work, which consists in development of new and improvement of existing methods of analysis of distribution of network resources; assessment of the correctness of the functioning and provision of services in multiservice networks with NFV technology support.

To solve the scientific-applied problem, the following methods were developed: the method of dynamic management of the composition of complex services by changing their components in NFV networks, which allows to form and manage the composition of the complex service, taking into account the current state of the complex services in the formation of the complex service, which leads to the required level of QoS; dynamic bandwidth allocation method for NFV networks based on the principles of residual bandwidth allocation and avoiding full load and overload of the transmission channel; dynamic replication method that increases the availability of services as the service grows in popularity on the NFV network.

It is determined that the proposed method of load balancing can increase the efficiency of use of transmission channels by 7% and reduce the average delay by 16% in comparison with the dynamic algorithm of Central Queuing, and the application of the developed method of replication of services allows to increase the service availability by 14 times in case of overloads.

In order to analyze the efficiency of the distribution of network resources, it is proposed to analyze the functional and non-functional properties of the service using a model approach. It is proposed to use the E-network apparatus as a mathematical simulation apparatus. It is suggested to analyze such algorithmic properties as: boundedness, activity, reachability and security.⁶ A dynamic replication method has been developed to increase the availability of services as the service becomes more popular on the NFV network.

To model the change in network characteristics in the service delivery process, the application of network computing theory is proposed, on the basis of which a number of definitions have been made, which allow the most complete modeling of NFVI elements. NFVI behavior analysis methods are proposed in two time models: continuous time: load and service curves and discrete time: arrival and departure function. Algorithm for reservation of resources in the provision of services based on the use of elements of the theory of network computing. The method is based on algorithms for analysis and estimation of the limit indicators of delay and speed of processing, which are characteristic for each node. A practical example of reserving resources using RSVP.

The method of dynamic replication of services in networks with support of functions of virtualization of network resources is developed, which through the use of network computing theory allows to increase the availability and efficiency of rendering services by timely formation, deleting of copies of different types of services and their rational distribution between fragments of the network.

The proposed mathematical models and methods can be used in the development, implementation and maintenance of cloud-based multi-service networks using network function virtualization technology.

Keywords: bandwidth, virtualization of network functions, control and orchestration system, quality of service, comprehensive service, load balancing.