

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

ДЕМИДОВ ІВАН ВАСИЛЬОВИЧ



УДК 621.391

**СИНТЕЗ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СЕРВІСНИХ ПЛАТФОРМ
НАЦІОНАЛЬНОГО МАСШТАБУ**

05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Львів - 2017

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Національному університеті «Львівська політехніка» Міністерства освіти і науки України.

Науковий консультант: лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки, доктор технічних наук, професор
Климаш Михайло Миколайович,
Національний університет «Львівська політехніка»,
завідувач кафедри телекомунікацій.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Лісовий Іван Павлович,
Одеська національна академія зв'язку ім. О.С.Попова,
професор кафедри телекомунікаційних систем;

доктор технічних наук, професор
Катеринчук Іван Степанович,
Національна академія Державної прикордонної
служби України імені Богдана Хмельницького,
професор кафедри загальнонаукових та інженерних
дисциплін;

доктор технічних наук, старший науковий співробітник
Гаврилко Євген Володимирович,
Державний університет телекомунікацій,
професор кафедри телекомунікаційних систем та мереж.

Захист дисертації відбудеться “01” грудня 2017 р. о 12³⁰ год. на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 35.052.10 у Національному університеті “Львівська політехніка” (79013, Львів-13, вул. С. Бандери, 12, ауд. 226 головного навчального корпусу).

З дисертацією можна ознайомитись у науковій бібліотеці Національного університету “Львівська політехніка” (79013, м. Львів, вул. Професорська, 1).

Автореферат розісланий “27” жовтня 2017 р.

*В.о. ученого секретаря спеціалізованої
вченої ради, д.т.н., професор*



А.П. Бондарєв

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Дисертаційну роботу присвячено проблематиці структурно-функціональної сегментації глобальної інформаційної інфраструктури з метою ефективної реалізації національного сегменту телекомунікаційних сервісних платформ (ТКСП) за критеріями системної продуктивності, сервісної доступності, а також функціональної стійкості. Враховуючи динаміку розвитку сучасних інфокомунікаційних технологій та еволюцію пов'язаних із ними організаційних і ринкових чинників, нагальну потребу в масштабованості систем надання електронних послуг у всіх галузях народного господарювання України, в умовах впровадження концепцій «Інтернету речей» (IoT) та «повсюдного комп'ютингу», необхідною є адаптація потужностей хмарних мережних систем множини операторів інфокомунікацій під управлінням та в інтересах держави.

Актуальність теми. Процеси проектування та розвитку сучасних телекомунікаційних мережних платформ спрямовані на розв'язання широкого кола науково-прикладних завдань. Серед них на варто виділити завдання, пов'язані зі структурно-параметричним синтезом масштабованих сервісних мережних систем, оскільки недостатньо обґрунтований вибір їх архітектури (локальної та об'єднаної), конфігурації програмно-апаратних засобів, спеціальних методів опрацювання навантаження, що ними реалізуються може в процесі експлуатації викликати перевантаження окремих їх елементів або цілих сегментів, призвести до неефективного використання мережних ресурсів, невиправданого збільшення вартості або ж до неспроможності виконувати основні функції, тобто до порушення функціональної стійкості, системної дезінтеграції.

Особливої актуальності дані дослідження набувають в умовах інформаційної боротьби, оскільки більшість окремих телекомунікаційних сервісних платформ можуть використовувати критично важливі мережні елементи, що перебувають під контролем сторін, відсутність координації та контролю діяльності яких впливатиме на стабільність та якість функціонування національного інформаційного простору. Національний інфокомунікаційний сегмент телекомунікаційних сервісних платформ підприємств та державних відомств, незалежно від їх розташування, масштабу та виду діяльності, потребує надійного архітектурного базису, що якомога меншою мірою залежний від окремо взятих операторів телекомунікацій, але, в той же час, більшою мірою відповідає сукупності стратегічних і тактичних цілей, які ставляться перед такими системами в разі їх спеціалізованого застосування, в тому числі – у розподіленому режимі. Очевидно, що розгляд телекомунікаційної складової при вивченні інфокомунікаційних мереж у сукупності з тими технологіями, що ними використовуються, дозволяє більш повно врахувати характерні системні особливості розвитку сервісної мережної інфраструктури методами теорії систем масового обслуговування.

Розвиток мережних технологій на сьогодні досяг рівня, коли можливо констатувати перехід до моделі взаємодії «термінал користувача – хмара». Багатопарова сервісна модель SaaS-PaaS-IaaS породжує крос-платформні відгалуження, зокрема «дані, як сервіс» DaaS, «апаратні комплекси, як сервіс» NaaS, враховуючи можливості віртуалізації мережних функцій (NFV). Хмарно-базовані системи почали витіснення мережних систем, що використовувались як

транзитні потужності при доступі у хмарну інфраструктуру. Відтак, в Україні подібні зміни на рівні регіональних точок обміну трафіком (MAN-рівня) в мережі Інтернет реалізовані компанією Google, що орендує власні ширококутні канали міжнародного зв'язку. На черзі та в процесі трансформування – інші ширококутні сервіс-провайдери. Змінюються підходи до надання електронних послуг, коли їх базовий пакет доступний для переважної більшості потенційних споживачів на конкурентній основі. Відповідно, зростає рухомість користувачів, змінюється їх розподіл за групами пріоритетності в обслуговуванні, значно збільшуються запитувані обсяги трафіку до телекомунікаційних сервісних платформ, в тому числі й тих, які розвиваються в рамках запровадження державою систем «електронного урядування».

Проблематикою сервісних інфокомунікаційних платформ займається багато вітчизняних та зарубіжних вчених. Управління сучасними інфокомунікаційними мережними системами розглядають такі науковці, як Беркман Л.Н., Безрук В.М., Толубко В.Б., Глоба Л.С., Поповський В.В., Теленик С.Ф., Andriy Luntovskiy, Alexander Schill, Hong J.W. та інші; сервісно-орієнтовані телекомунікаційні мережні системи докладно вивчали у своїх працях Ложковський А.Г., Стрихалюк Б.М., Лемешко О.В., Ролік О.І., Гольдштейн Б.С., Шнепс-Шнеппе М.А., Natalia Kryvinska, Christine Strauss, Yu C.Z. тощо; питання ресурсного управління в гетерогенних мережних системах досліджували Агеев Д.В., Богатырев В.А., Воробієнко П.П., Гаркуша С.В., Додонов А.Г., Xiaohu Ge, Jo M., Aramudhan M., Schmidt H., Walter F. Witt, Zhao X., Bloomers J. та інші. Проте, особливості створення та розвитку національного сегменту телекомунікаційних сервісних платформ у існуючих літературних джерелах висвітлені поверхнево.

На сучасному еволюційному етапі методи теорії телекомунікаційних систем дозволяють проведення узагальненого структурного синтезу розподілених сервісних мережних платформ, проте для більш повного врахування особливостей їх розвитку (масштабування, характеристик навантаження, архітектури, функціональних та інших якісних вимог) такі методи необхідно вдосконалювати. Відтак, необхідно більш детально дослідити імовірно-часові характеристики подібних систем, особливо для випадку використання відкритої архітектури, що набуває останнім часом широкого поширення. Дослідження масштабованих сервісних мережних архітектур щодо продуктивності апаратно-програмних комплексів, показників доступності сервісів, які ними реалізуються, методів та засобів забезпечення їх функціональної стійкості до зовнішніх впливів практично не проводились. Це, в свою чергу, спонукає до більш докладного вивчення методів оптимального розподілу ресурсів мережно-залежних рівнів у гетерогенних телекомунікаційних платформах, у тому числі – методів управління потоками. В умовах значного зростання попиту на нові технології безпроводного доступу для ширококутвого передавання даних у рамках реалізації концепції повсюдного комп'ютингу, необхідною є взаємна адаптація архітектури платформ хмарних обчислень і гетерогенних систем безпроводного доступу 4-5G. Враховуючи складність останніх, перспективними виглядають підходи до керування розподілом мережних ресурсів на основі застосування методів теорії нечітких множин. Для ефективного, масштабованого впровадження концепції повсюдного комп'ютингу

актуальними є також питання інтеграції сервісних мережних платформ різного рівня (SaaS, PaaS, IaaS) при реалізації відомчих інфокомунікаційних мереж, моделювання розподіленої гетерогенної телекомунікаційної сервісної платформи на основі стаціонарно-нестационарних сегментів інфраструктури доступу, дослідження особливостей забезпечення функціональної стійкості сервісних мережних систем, моніторингу та збору інформації щодо їх функціонування.

Таким чином, виникає невідповідність існуючого методологічного забезпечення архітектурного синтезу масштабованих сервісних мережних платформ сучасному рівню розвитку теорії та практики побудови телекомунікаційних систем в умовах збільшення ступеня проникнення розподілених обчислень в усі галузі господарювання, зокрема в рамках розбудови сервісної мережної інфраструктури згідно сучасної концепції IoT. Проте, споживання більших обсягів електронних сервісів призводить до зростання витрат операторів інфокомунікацій на організацію нарощування обсягів обчислювальних і телекомунікаційних потужностей (у разі досягнення меж їх консолідації), які, природно, з метою забезпечення прибутковості, перекладаються на плечі споживачів, у тому числі – державних.

Отже, виникає **протиріччя**, оскільки процеси впровадження повсюдного комп'ютингу в умовах неефективного масштабування хмарних телекомунікаційних платформ призводять до потреби у надлишковому споживанні їх ресурсів і обмеження переліку та обсягів завдань оброблення інформації, що можуть розв'язуватись в рамках надання розподілених сервісів.

На сьогодні дане протиріччя можливо розв'язати удосконаленням методів консолідації розподілених мережних і обчислювальних ресурсів в рамках побудови масштабованих сервісних платформ, що, разом із сукупністю порушених вище питань, дозволяє сформулювати актуальну **наукову проблему** розроблення методологічного забезпечення синтезу телекомунікаційних сервісних платформ національного рівня для оптимального впровадження концепції повсюдного комп'ютингу (розподілених обчислень) із заданими рівнями якості сервісу, продуктивності та функціональної стійкості.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Тематика дисертаційної роботи безпосередньо пов'язана з положеннями Постанови Верховної Ради України про «Концепцію національної інформаційної політики», «Концепції конвергенції телефонних мереж і мереж з пакетною комутацією в Україні», «Стратегії розвитку інформаційного суспільства в Україні», Закону України «Про Основні засади розвитку інформаційного суспільства в Україні на 2007-2015 роки». Дисертаційні дослідження виконувались у відповідності до наукового напряму кафедри телекомунікацій Національного університету «Львівська політехніка» - «Інфокомунікаційні системи та мережі», в рамках низки держбюджетних науково-дослідних тем «Дослідження та розроблення телекомунікаційних мережних систем для застосувань телематики і телеметрії» (ДБ/КОМ) (2011-2012 рр.), № держреєстрації 0111U001223, «Моделі та структури конвергентних телекомунікаційних мереж на основі CLOUD – технологій» («ДБ/CLOUD») (2013-2014 рр.), № держреєстрації 0113U003184, «Методи побудови та моделі інформаційно-телекомунікаційної інфраструктури на основі SDN-технологій для систем електронного урядування» (ДБ/SDN) (2015-2016),

№ держреєстрації 0115U000444, а також госпдоговірної тематики «Проектування та впровадження локальної мережі передачі мультимедійних даних на базі Ethernet технологій» (2016 р.), ГД № 0548.

Мета і завдання дослідження. Метою представленої дисертаційної роботи є підвищення якості сервісу, продуктивності та функціональної стійкості телекомунікаційних сервісних платформ національного рівня шляхом розроблення адаптивних методів для ефективного розв'язання завдань їх синтезу при впровадженні концепції повсюдного комп'ютингу (розподілених обчислень).

Для досягнення поставленої мети в межах дисертаційних досліджень були сформульовані та розв'язані наступні завдання:

1. Аналіз методів побудови національного сегменту сервісних мережних систем: проблематика мережного управління, моніторингу, мережної трансформації та конвергенції під егідою хмарних технологій, якості сервісу;

2. Моделювання імовірно-часових характеристик телекомунікаційних сервісних платформ: дослідження методів підвищення системної продуктивності, зокрема пріоритезації (диференціації) обслуговування користувачів і динамічного резервування мережних ресурсів;

3. Дослідження особливостей реалізації телекомунікаційних мережних платформ з відкритою сервісно-орієнтованою архітектурою та їх характеристик, визначення та аналіз критеріїв їх функціональної стійкості;

4. Дослідження статистичних характеристик навантаження гетерогенних сервісних мережних платформ;

5. Розроблення методології структурно-параметричного синтезу сервісних мережних систем з відкритою архітектурою за критеріями сервісної доступності та системної продуктивності: визначення та параметризація критеріїв, дослідження характеристик сервісної доступності та системної продуктивності в умовах масштабування мережних платформ;

6. Розроблення та моделювання методів забезпечення функціональної стійкості телекомунікаційних сервісних платформ: дослідження сучасних систем виявлення та запобігання функціональним втручанням, розроблення методу мігруючого мережного екрану, дослідження методів оптимального управління процесами міграції ресурсів в гетерогенних сервісних системах;

7. Оптимізація конвергованих ресурсів мережно-залежних рівнів гетерогенних розподілених сервісних систем: дослідження ефективності структуро-генного балансування навантаження у транспортних платформах сервісних мережних систем, розроблення та моделювання методів ресурсного розподілу на основі теорії нечітких множин;

8. Дослідження особливостей трансформації архітектури телекомунікаційних сервісних платформ для застосування в критично важливих системах національного масштабу: вдосконалення протокольних засобів мережного рівня для спеціалізації гетерогенних сервісних мережних платформ, особливості адаптації IaaS для організації масштабованих мереж цивільного та спеціального призначення, голографічний опис функціональних метаданих мережної системи, дослідження особливостей скоординованої фіксації метаданих у мережних системах національного рівня.

Об'єктом дослідження є процес синтезу розподілених сервісних мережних систем.

Предмет дослідження: методи синтезу масштабованих телекомунікаційних сервісних платформ національного сегменту на основі відкритої архітектури.

Методи дослідження. В процесі досліджень використано такі теоретичні засади, як теорія систем масового обслуговування, теорія відкритих мереж Джексона, теорія оптимізації, теорія випадкових графів, теорія телекомунікаційних систем, теорія ієрархічних систем, теорія марковських процесів, методи нечіткої математики, математичного та комп'ютерного моделювання, метод Ватутіна (для оцінювання ступеню паралельності структури), метод експертних оцінок.

Наукова новизна отриманих результатів.

1. Вперше запропоновано загальні принципи та структурно-організаційну модель трансформації телекомунікаційних сервісних платформ національного сегменту глобальної інформаційної інфраструктури на основі хмарних технологій, яка відрізняється від відомих урахуванням міжоператорської та крос-платформної конвергенції ресурсів в межах єдиної мережної політики під егідою DaaS концепції, що надало змогу пришвидшити процеси утворення національного хмарного простору.

2. Набула подальшого розвитку модель живучості складних мережних систем Додонова-Ланде шляхом урахування у компонентах її адитивного ймовірнісного представлення розв'язків модифікованої формули Норрота відносно ймовірності втрати запиту для заданих статистичних параметрів навантаження розпаралелених, послідовних та транзитних обробників (компонентів платформи), що дала змогу дослідити сервісну доступність при масштабуванні заданих сегментів телекомунікаційних сервісних платформ.

3. Вперше запропоновано методологію синтезу масштабованих телекомунікаційних сервісних платформ, яка, на відміну від відомих, враховує особливості адаптації їх SaaS, PaaS та IaaS реалізацій за критеріями сервісної (компонентної) доступності та системної продуктивності на основі доведення оптимальності структурної композиції у співвідношенні розпаралелених та послідовних компонент за принципом «золотого січення» ($\sim 0,6/0,4$), що дало змогу провести трансформацію та покращити ключові технічні параметри ряду мережних платформ національного рівня.

4. Вперше запропоновано структурно-функціональну модель мігруючого мережного екрану, яка, на відміну від відомих, передбачає реплікацію та міграцію компонентів телекомунікаційної сервісної платформи, які забезпечують збір статистичних даних про мережну активність для виявлення її аномалій, що дало змогу забезпечити блокування або фільтрацію небажаних інформаційних потоків, інформаційної присутності.

5. Вперше запропоновано голографічну модель представлення часо-частотних параметрів або мережних метаданих гетерогенної мережної платформи, яка використовує принципи цифрової голографії для компактного числового представлення інтенсивності службових та інформаційних потоків навантаження, яка, на відміну від відомих, надає змогу відновлення їх розподілу за умов втрати частини даних голографічного представлення (образу).

6. Набула подальшого розвитку модель розподілу конвергованих ресурсів мережно-залежних рівнів гетерогенної сервісної платформи, яка, на відміну від відомих, базується на застосуванні положень нечіткої математики, зокрема методів оброблення трикутних нечітких чисел, що дало змогу уникнути двозначності при обґрунтуванні розв'язків завдань ресурсної оптимізації, які передбачають агрегацію складної, ієрархічної множини взаємопов'язаних критеріїв.

7. Удосконалено модель диференційованого обслуговування сегментом телекомунікаційної сервісної платформи двопріоритетного навантаження на основі рівнянь статистичної рівноваги для марковського процесу, що описується чотиривимірним вектором, яка, на відміну від відомих, враховує ресурсні обмеження та особливості дообслуговування навантаження різних груп користувачів, що дало змогу оптимізувати використання системної пропускну спроможності шляхом вибору порогового обсягу мережних ресурсів, доступних для обслуговування неперіоритетних користувацьких запитів.

Практичне значення одержаних результатів. Основним практичним результатом дисертації, який одержаний на основі проведених теоретичних досліджень, є розроблена методологія синтезу телекомунікаційних сервісних платформ національного масштабу, як сукупність методів підвищення їх продуктивності та компонентної (сервісної) доступності, а також підтримання функціональної стійкості з урахуванням особливостей реалізації національного сегменту глобальної інформаційної інфраструктури на основі хмарних технологій. При цьому, протягом 2014-2016 років проведено трансформацію мультисервісної телекомунікаційної платформи ПАТ «Укртелеком», на рівні IaaS реалізації одержано позитивний приріст продуктивності на 58% (з 198 до 314 Гбіт/с) та компонентної (сервісної) доступності на 1,3% (з 0,986 до 0,999); на рівні реалізації PaaS одержано позитивний приріст продуктивності на 35% (з 210 до 299 Гбіт/с) та сервісної доступності на 0,1% (з 0,99909 до 0,99999). Забезпечено сервісну доступність службової телекомунікаційної сервісної платформи ДПСУ на рівні не менше 0,99999, як PaaS реалізації на основі мережної інфраструктури ПАТ «Укртелеком».

У межах запропонованої методології використано наступні практичні особливості розроблених методів і моделей:

1. Розроблено метод мігруючого мережного екрану, який враховує загрози поширенню даних та порушення функціональної стійкості телекомунікаційної сервісної платформи, зокрема найбільш імовірні стратегії втручання в її роботу, підтримує її стійке функціонування шляхом багатфакторного статистичного аналізу мережної активності, зокрема фільтрування трафіку та блокування небажаних точок інформаційної (PoIP) та міжоператорської (PoP) присутності (відповідних мережних інтерфейсів, портів, окремих інформаційних потоків).

2. Запропоновано метод диференційованого обслуговування користувачів, який, шляхом оптимізації часу доступу до сервісної платформи неперіоритетними користувачами, дає змогу підвищити її добову системну продуктивність до 16%, а також удосконалено протокольні засоби сервісної мережної інфраструктури, які дають змогу підвищити якість потоків даних реального часу шляхом контролю та зменшення наскрізних затримок обслуговування пріоритетних пакетів у 2-7 разів.

Для верифікації одержаного результату розроблено і апробовано моделі генератора трафіку, віртуалізованого програмного маршрутизатора з можливістю розпаралелення оброблення потоків навантаження за концепцією NFV, що, окрім цього, дало змогу більш точно визначати статистичні параметри навантаження, зокрема параметр Херста.

3. Запропоновано нові підходи до аналізу та збору великих обсягів функціональних мережних метаданих. А саме, запропоновано розглядати їх, як цілісну сутність шляхом цифрового голографічного представлення мережної структури та множини її функціональних властивостей. Узагальнено теоретико-прикладні засади створення телекомунікаційної сервісної платформи національного масштабу для фіксації метаданих щодо комунікаційної активності абонентів рухомого зв'язку, з дотриманням принципів масштабованості в рамках глобальних комунікаційних процесів.

4. Запропоновано для гетерогенних телекомунікаційних сервісних платформ використовувати метод динамічної корекції маршрутних метрик шляхом наскрізного структурного трасування, що дало змогу підвищити доступність сервісних вузлів у хмарній системі до 4-10%, а також метод розподілу конвергованих ресурсів мережно-залежних рівнів гетерогенної сервісної платформи (наприклад безпроводного доступу) на основі застосування теорії нечітких множин, що дає змогу приймати обґрунтовані рішення щодо проведення процедур вертикального хендвера, базуючись на групі QoS-залежних критеріїв у амбівалентних ситуаціях.

Основні результати дисертаційної роботи використано і впроваджено:

- у ТзОВ СП «Мікро-код» Лтд (Україна-Канада) під час розроблення пропозицій щодо створення магістральних телекомунікаційних сервісних платформ з відкритою архітектурою, а також при розробленні систем фіксації метаданих щодо комунікаційної активності абонентів рухомого зв'язку;

- у Львівській філії ПАТ «Укртелеком» (керуючій філії Західного макрорегіону) для підвищення ефективності обслуговування навантаження користувачів при масштабуванні розподілених ЦОД сервісних мережних систем, а також при упровадженні методів підтримки їх функціональної стійкості;

- у ПП «Цифрові технології» (м. Львів) для покращення часових показників якості обслуговування користувацького навантаження у процесі надання розподілених хмарних сервісів, а також для підвищення коефіцієнта доступності композитних додатків, які реалізуються на основі масштабованих сервісних мережних систем;

- у навчально-науковому процесі кафедри телекомунікацій Національного університету «Львівська політехніка» для модернізації курсів лекцій з дисциплін «Телекомунікаційні та інформаційні мережі, ч.1», «Системне програмування інфокомунікацій»; для створення нових курсів лекцій з дисципліни «Розподілені сервісні системи та Cloud-технології», «Інтернет речей та повсюдний комп'ютинг».

Особистий внесок здобувача. Основні наукові результати дисертаційної роботи отримано автором самостійно. У працях, опублікованих у співавторстві, авторові належать: у роботах [2, 3, 7, 16, 17, 18, 20, 32, 33] – теоретичні основи побудови ефективних телекомунікаційних сервісних платформ національного

сегменту глобальної інформаційної інфраструктури, зокрема у [1, 9, 10, 18, 22, 25, 29, 38] – результати моделювання їх функціональних характеристик; у роботах [14, 21, 26, 36, 37] – аналіз та розроблення сучасних методів забезпечення функціональної стійкості сервісних мережних систем, зокрема у [28] – концепція та структурно-функціональна модель мігруючого мережного екрану, а у [35, 40] – методи фіксації мережних метаданих; у роботах [17, 20, 24] – загальний аналіз методів моделювання телекомунікаційних сервісних платформ; у [34] – голографічна модель телекомунікаційної системи; у працях [4, 7, 13, 23, 29, 39] – результати досліджень методів підвищення ефективності опрацювання навантаження в сервісних мережних платформах, зокрема у [4, 6, 8, 10, 39] – математичні моделі, результати моделювання; у роботах [15, 31] – математична модель ресурсної оптимізації з використанням методів теорії нечітких множин і результати моделювання; у роботах [5, 9, 25, 27, 30, 33] – методологічні основи структурно-параметричного синтезу масштабованих сервісних мережних платформ; у роботах [6, 7, 10, 19, 22] – моделі та результати моделювання характеристик телекомунікаційних сервісних платформ з відкритою системною архітектурою; у праці [11] – результати експериментального статистичного дослідження мультисервісного навантаження в гетерогенній корпоративній мережній системі, а у [12] – аналіз стратегій міграції віртуальних машин у сервісній мережній платформі; у роботі [14] – математична модель параметрів поширення оптичного сигналу.

Апробація результатів дисертації. Основні наукові результати і положення дисертації представлені, доповідались та обговорені на 18-ти міжнародних і державних науково-технічних конференціях та наукових семінарах: Міжнародних науково-технічних конференціях «Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій, комп'ютерної інженерії» (м. Львів-Славське, 2012, 2016 рр.); Міжнародних науково-технічних конференціях «Досвід розробки та застосування приладо-технологічних САПР в мікроелектроніці». (м. Львів-Поляна, 2011, 2015 рр.); Міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми телекомунікацій - 2016» ПТ-16 (м. Київ, 2016 рр.); Міжнародній науково-технічній конференції «Информационные проблемы теории акустических, радиоэлектронных и телекоммуникационных систем» IPST-2012 (м. Алушта, 2012); Міжнародних науково-технічних конференціях «Сучасні інформаційно-комунікаційні технології» (м. Ялта, 2011 р., м. Київ, 2015 р.); Науково-практичних конференціях «Сучасні проблеми телекомунікацій і підготовка фахівців в галузі телекомунікацій – 2012, 2013» (м. Львів, 2012, 2013 рр.); XIII Міжнародній науково-технічній конференції «Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах» (м. Одеса, 2014); The 2014 IEEE International Black Sea Conference on Communications and Networking (IEEE BlackSeaCom 2014) (Odessa, Ukraine – Chisinau, Moldova, 2014); The 2015 Second International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications Science and Technology (PIC S&T) (Kharkiv, Ukraine, 2015); Міжнародній конференції з інформаційно-телекомунікаційних технологій та радіоелектроніки IEEE (УкрМіКо'2016/UkrMiCo'2016) (м. Київ, 2016); 2nd International IEEE Conference on Advanced Information and Communication Technologies-2017 (м. Львів, 2017). Крім цього, дисертаційна робота у повному обсязі представлена на наукових семінарах кафедри телекомунікацій Національного університету «Львівська політехніка».

Публікації. За результатами досліджень, які викладені у дисертаційній роботі, опубліковано 40 наукових праць, серед них статей у наукових фахових виданнях – 23 (всі статті у науковій періодиці, що входить до міжнародних наукометричних баз різного рівня, включаючи Scopus, Index Copernicus, Google Scholar тощо), у збірниках матеріалів і тез доповідей міжнародних та всеукраїнських конференцій – 16, з них індексованих у наукометричній базі Scopus – 10.

Структура та обсяг роботи. Робота складається з переліку умовних скорочень, вступу, шести розділів, висновків, списку використаних джерел і 4 додатків. Загальний обсяг роботи складає 416 сторінок друкарського тексту, із них 14 сторінок вступу, 308 сторінок основного тексту, 120 рисунків, 17 таблиць, список використаних джерел із 243 найменувань, 4 додатки на 28 сторінках. Додатки містять обрані початкові коди розробленого програмного забезпечення, акти впровадження результатів дисертаційної роботи, а також список праць автора.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, вказано зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, сформульовано мету і визначено основні завдання, об'єкт, предмет і методи дослідження, подано наукову новизну і практичну значимість отриманих результатів із вказівкою відомостей про впровадження результатів роботи, описано особистий внесок здобувача, наведено відомості про апробацію результатів роботи і про публікації за темою роботи, подано короткий опис структури і обсягу дисертації.

Перший розділ роботи – «**Аналіз методів побудови сервісних мережних систем**» – містить огляд літературних джерел за темою дисертації в рамках проведення аналізу методології створення та впровадження розподілених сервісних мережних систем у національному сегменті глобальної інформаційної інфраструктури. Розглянуто особливості еволюції, а також проблематику ефективного управління телекомунікаційними сервісними платформами на основі аналізу сервісно-орієнтованих архітектур різної технологічної реалізації.

Сукупність установ, підприємств та відомств – основа економічного зростання України – зазнає активних інтеграційних процесів у глобальну інформаційну інфраструктуру. Пов'язані з відповідними бізнес-процесами (інформаційними процесами) сервісні мережні системи визначають акценти та пріоритети у реалізації актуальних соціальних, комерційних, оборонних, урядових програм тощо. Більшість державних і комерційних установ на сьогодні перебувають у стані динамічної конвергенції своїх інформаційно-комунікаційних систем задля розширення переліку послуг і сервісів, що надаються. Розвиток сервісної мережної інфраструктури для них є критично важливим завданням у світлі підтримки ефективності та конкурентоздатності на світовому рівні. Високоструктурованим, вертикально інтегрованим, багаторівневим організаціям, діяльність яких тісно пов'язана з інформаційними технологіями, електронними сервісами та телекомунікаціями все важче скорочувати час на їх модернізацію задля відповідності вимогам, що постійно зростають, особливо у випадку масштабованих рішень. Відповідями на всі перераховані виклики стало масове впровадження хмарних технологій, зокрема сторонніми операторами, проте проблематика

побудови національного сегменту сервісних мережних систем, внаслідок специфічних вимог до його керованості, безпеки, а також технічної й економічної ефективності приводить до необхідності розв'язання низки складних взаємопов'язаних завдань, яким, власне і присвячена ця дисертаційна робота. Одним із основних функціональних елементів сервісної мережної інфраструктури є шар програмного забезпечення згідно моделі SaaS. Принциповою відмінністю моделі SaaS від попередніх (Hosted Applications та Application Service Provider (ASP)) є те, що отримується саме послуга та інтерфейс (призначений для користувача або програми), тобто деяка функціональність без жорсткої прив'язки до способу її реалізації, як правило – розподіленого або хмарного. Приклади типових сервісів, які доступні користувачам хмарної мережної системи [3]:

- у рамках SaaS реалізації: управління продажами, CRM, ERP, електронний документообіг, управління персоналом, коворкінг, соціальні мережі, бухгалтерія, білінг, управління контентом тощо;

- у рамках PaaS реалізації: підтримування діяльності різноманітних служб та бізнес-процесів, підтримка СУБД, розгортання програмного забезпечення, системна інтеграція тощо;

- у рамках IaaS реалізації: системне резервування/копіювання, управління сервісами, реалізація CDN, сховищ ЦОД, розподілені обчислення, крос-платформний хостинг тощо.

Під час трансформації телекомунікаційних сервісних платформ України на основі хмарних технологій виникають п'ять ключових категорій організаційно-технічних завдань, які повинні бути розв'язані, а саме: трансформація управлінської культури; забезпечення функціональної стійкості, інформаційної гарантованості та безпеки; подолання тактичної мережної залежності «останньої милі»; придбання сервісів та подолання фінансових труднощів; міграція даних, сервісів та функціональна прозорість.

Національний сегмент сервісної мережної інфраструктури передбачає реалізацію коцепції повсюдного (мобільного, службового, особистого) доступу для реалізації ряду електронних сервісів приватного, комерційного або державного (спеціального) призначення. При цьому використовуються глобальні захищені точки доступу та канали передавання даних, які адмініструються групою оперативного системного адміністрування та кібербезпеки. Передбачається застосування уніфікованого за мережною політикою ядра інтероперабельного середовища ТКСП в якому, зокрема, застосовуються комерційні сервісні компоненти від багатьох провайдерів, спеціалізовані компоненти ситуаційного розгортання, а також, з метою підтримування функціональної стійкості, – методи законного фільтрування трафіку.

Етапи впровадження хмарних технологій у цьому сегменті є наступними [3]:

1. Початкове впровадження хмарних сервісів: визначення державної стратегії, управлінської структури та шляхів ефективного розвитку, аналіз та розширення користувацької бази, сфер застосування (державні та комерційні сервіси, зокрема e-government).

2. Оптимальна консолідація національних ЦОД на основі стандартизованих програмних платформ та групи дата-центрів ядра хмарного середовища, що

спрощує адміністрування національного сегменту системи, дозволяє відповідну віртуалізацію та консолідацію даних і сервісних компонентів застосувань; крім того звужується площина потенційних утручань у роботу системи, зокрема різного роду мережних атак.

3. Впровадження консолідованої національної хмарної мережної інфраструктури: інтеграція багатоператорського середовища в рамках консолідації ЦОД, оптимізація надання розподілених сервісів через створену інфраструктуру в рамках прийнятої політики розподіленого використання сервісних компонентів.

4. Підвищення ефективності надання хмарних сервісів: процес виводу сервісних компонентів на обслуговування до сторонніх операторів, підтримка комерційних сервісів, розширення переліку пропонованих мережних сервісів та обсягів їх надання, контроль з боку наглядових органів (НКРЗІ України). Для більш ефективного масштабування хмарної мережної системи необхідно користуватись послугами сторонніх інфокомунікаційних операторів, що дозволяє оперативно нарощувати необхідні обчислювальні потужності відповідно до поточних потреб, але потребує вироблення сукупності нормативних та регулятивних документів.

Очевидно, що будь-яка архітектура, яка реалізується у формі телекомунікаційної сервісної платформи породжує задачі управління потоками завдань. З урахуванням цього визначено сукупність параметрів-критеріїв, забезпечення яких є необхідним для дотримання рівня якості сервісу у відповідності із домовленими технічними специфікаціями: час затримки потоку завдань, функціональна стійкість та інфраструктурна надійність, системна продуктивність та сервісна доступність. Наведену множину критеріїв можливо збалансувати впровадженням концепції відкритої системної архітектури (OSA), яка найбільш активно розвивається останнім часом і надає змогу розгортання та розвитку інфокомунікаційних сервісів, що складають основу відомчих та бізнес-порталів, а також добре зарекомендувала себе при розгортанні національних платформ електронного урядування [22]. Оскільки будь-яка сервісна мережна система, перш за все, вимагає оптимізації за критеріями продуктивності та сервісної доступності, а також часу розповсюдження та обслуговування потоків завдань (із урахуванням параметрів навантаження), реалізації відкритої архітектури телекомунікаційних систем платформ надання сервісів (SDP) повинні передбачати можливості розпаралелення процесів оброблення потокового трафіку різних видів, зокрема з використанням принципів віртуалізації мережних функцій (NFV) [5, 18].

Отже, актуалізується проблематика синтезу програмно-прикладних сервісних платформ національного рівня конфігуруванням структури та параметризацією апаратних і програмних компонентів масштабованих телекомунікаційних рішень, приймаючи до уваги оптимізацію інфокомунікаційних процесів взаємодії серверів послуг/сервісних застосувань (на рівнях SaaS, PaaS, IaaS) при наданні послуг через відкриті системні інтерфейси за критеріями якості сервісу (з урахуванням сервісної доступності), системної продуктивності та функціональної стійкості.

Елементи запропонованої у роботі ієрархічної методології синтезу телекомунікаційних сервісних платформ національного масштабу представлено на рис. 1, та розглянуто детальніше у подальших розділах дисертації, а її етапи деталізовано на рис. 11, 16, 17 а-в у четвертому та шостому розділах роботи.

| | | | |
|--|--|---|---|
| Концепція | Національний сегмент глобальної інформаційної інфраструктури, як ТКСП, що оптимізується за продуктивністю, сервісною доступністю та функціональною стійкістю | | |
| Принципи | Трансформація CEN → CBN | Впровадження «повсюдного комп'ютингу» | Масштабування ХааS архітектурних реалізацій |
| Моделі | Модель синтезу абстрактної реалізації ХааS (SaaS, PaaS, IaaS) платформ за критеріями продуктивності та сервісної доступності | Модель розподілу ресурсів у гетерогенних мережних системах на основі застосування методів нечіткої математики | Структурно-функціональна модель мігруючого мережного екрану |
| Методи покращення параметрів ХааS реалізацій | Метод диференційованого обслуговування користувачів | Метод оцінювання параметрів ХааS реалізації | Метод оптимізації розподілу ресурсів гетерогенних систем |
| | Метод оптимізації передавання пріоритезованого трафіку | Метод підвищення доступності вузлів шляхом наскрізного структурного трасування | Метод адаптивного резервування каналних ресурсів ТКСП |
| Методи підтримки функціональної стійкості ТКСП | Метод мігруючого мережного екрану | Метод фіксації метаданих мереж зв'язку | Метод голографічного представлення метаданих мереж зв'язку |
| Методологія синтезу ефективних ТКСП | | | |

Рис. 1. Елементи методології синтезу телекомунікаційних сервісних платформ національного масштабу

Другий розділ роботи - «Моделювання імовірнісно-часових характеристик телекомунікаційних сервісних платформ» - присвячено визначенню та дослідженню найбільш ефективних за імовірнісно-часовими показниками методів підвищення продуктивності сервісних мережних платформ. Ці методи, як було показано в роботі, в основному, ґрунтуються на удосконаленні процесів опрацювання користувацького навантаження засобами мережного рівня, а також на адаптації, відповідно до його розподілу та характеру, коефіцієнтів утилізації мережних ресурсів. На основі запропонованих у розділі теоретичних методів та структурно-математичних моделей показано, що у сучасних розподілених сервісних мережних платформах є значний потенціал для оптимізації за критерієм продуктивності.

Відтак, основні методи підвищення середньодобової продуктивності для сучасних сервісних мережних систем представлено на рис. 2.

Їх аналіз показав, що, окрім застосування динамічного управління маршрутизацією в рамках реалізації масштабованої PaaS моделі, найбільш перспективними та доцільними до застосування є два: метод диференційованого обслуговування користувачів, оскільки він не вимагає підвищення продуктивності програмно-технічних засобів телекомунікаційної сервісної платформи, а також залишається ефективним (з техніко-економічного погляду на системну продуктивність) в умовах підвищених навантажень на хмарну сервісну систему; метод адаптивного резервування ресурсів сервісної мережної платформи, що дозволяє користуватись багатошляховою маршрутизацією і уникати непродуктивних витрат її мережних ресурсів.

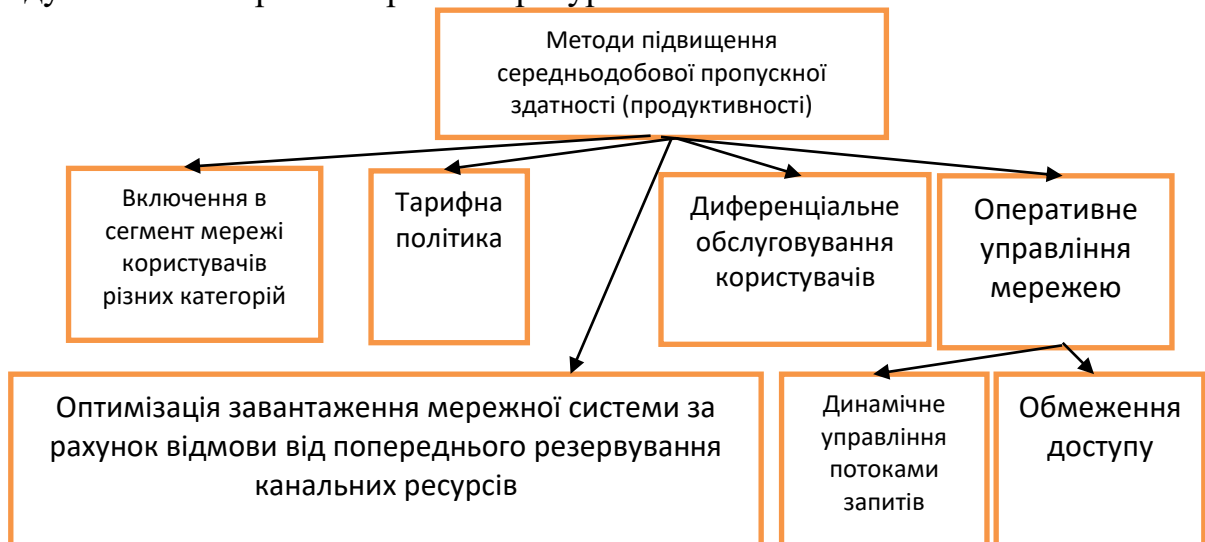


Рис. 2. Методи підвищення продуктивності в сервісних мережних системах [7]

Метод диференційованого обслуговування користувачів. В дисертаційній роботі запропоновано при конфігуруванні телекомунікаційних платформ хмарних сервісних систем виділяти і враховувати різні категорії користувачів, яким надаються різні пріоритети обслуговування, функціональні сервісні можливості, мінімальна гарантована якість сервісу тощо. При розподілі користувачів хмарних сервісних систем за категоріями відповідно до параметрів створюваного ними навантаження, необхідно враховувати інформацію про надання їм специфічних видів додаткових послуг.

Для виконання досліджень запропоновано розглянути імітаційну модель процесів обслуговування двох потоків запитів сервісною мережною системою, що володіє величиною каналного ресурсу v , при цьому для запитів другого потоку доступні тільки мережні ресурси величиною k , $0 \leq k \leq v$. Запити з першого потоку утворюють пуасонівський потік інтенсивності λ_1 , і займають будь-який вільний каналний ресурс на час тривалості обслуговування, що має експоненційний розподіл з параметром μ_1 . Після завершення обслуговування запит може з імовірністю a продовжити обслуговування, тобто отримувати додатковий сервіс. Тривалість додаткового обслуговування має експоненціальний розподіл з параметром μ_5 . У тому випадку, коли запит не надходить на обслуговування, він не може отримати і додатковий сервіс. Запити з другого потоку утворюють пуасонівський потік інтенсивності λ_2 і займають будь-який доступний їм каналний ресурс мережної системи на час тривалості обслуговування, що має експоненціальний розподіл з параметром μ_2 . Для запитів з другого потоку надання додаткових сервісів не передбачене. У випадку зайнятості всіх доступних каналних ресурсів запит

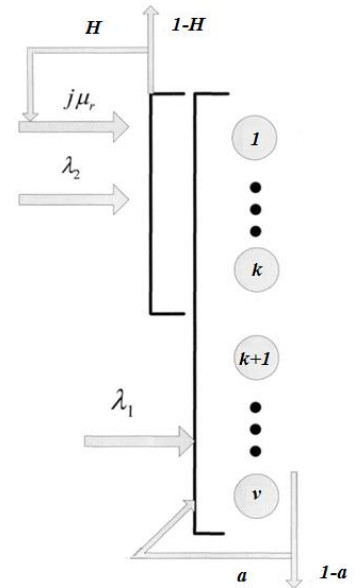


Рис. 3. Ланка сервісної мережної системи з диференційованим обслуговуванням запитів користувачів [6]

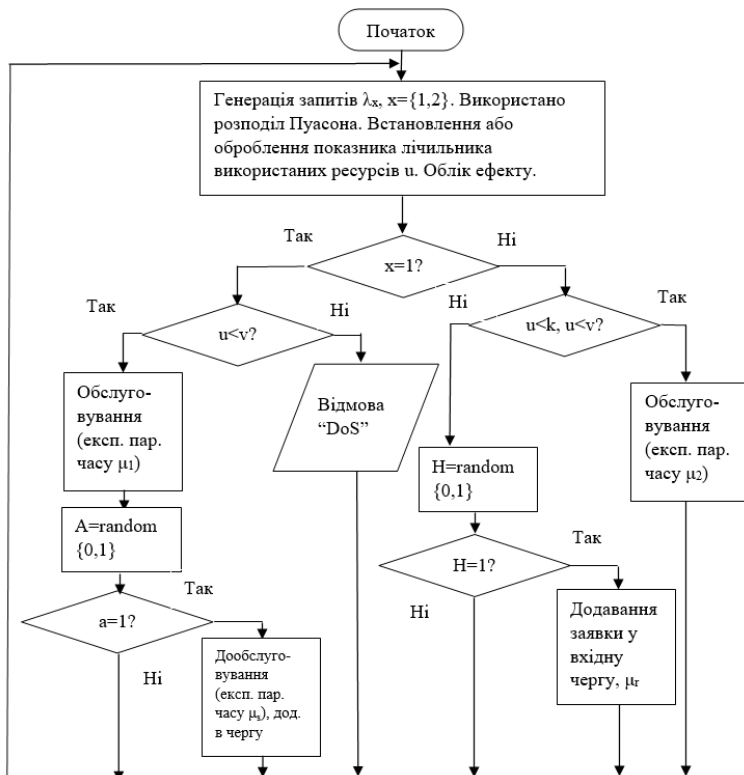


Рис. 4. Узагальнена схема реалізації алгоритму моделювання методу диференційованого обслуговування користувачів

використання додаткових мережних ресурсів за рахунок обслуговування запитів

другого потоку стає джерелом повторних запитів із імовірністю H , $0 < H < 1$, й інтенсивністю μ_r . Таким чином, модель можливо описати марковським процесом, стани якого визначаються чотиривимірним вектором. Модель обслуговуючого пристрою на основі ланки сервісної мережної системи (фактично – ланка відкритої МеМО Джексона) приведена на рис. 3, а узагальнена схема реалізації алгоритму моделювання цього методу – на рис.4. Проведені дослідження показали, що відсутність пріоритетів у обслуговуванні користувачів хмарних сервісних мережних систем не лише не забезпечує задовільну якість обслуговування запитів бізнес-користувачів (першого потоку), але й не дозволяє підвищити ефективність

другого потоку від «економних» користувачів. Більше того, за відсутності диференційованого регулювання потокового навантаження, а також при відсутності його балансування, телекомунікаційна сервісна платформа стає дотаційною. Оптимізація функціоналу системної продуктивності шляхом вибору порогу обсягу мережних ресурсів, які дозволяється виділяти під обслуговування неперіоритетних користувачьких запитів, а також шляхом профілювання ГНН сервісної мережної системи дозволяє отримувати стійкий додатковий приріст продуктивності при невеликих її перевантаженнях. Можливо забезпечити вигреш за піковою добовою системною продуктивністю до 16% для випадку оптимізації часу доступу до сервісів неперіоритетними користувачами. Однак, при виникненні великих навантажень низькопріоритетними запитами якість сервісу та системна продуктивність будуть спадати. Щодо низькопріоритетних абонентів, рекомендовано виконувати процедури вертикального хендоверу для переведення їх на обслуговування до платформ, у яких існують невикористані мережні ресурси. Наприклад, виконувати примусове переключення «економних абонентів» 3-4G у 2-2,75G сегмент мережі мобільного зв'язку, при цьому «бізнес»-абоненти одержують весь високошвидкісний ресурс для якісного надання базових та додаткових видів сервісів.

Метод адаптивного резервування ресурсів сервісної мережної платформи. Висловлено та доведено гіпотезу про те, що з урахуванням існування в телекомунікаційній сервісній платформі достатньої кількості альтернативних маршрутів для обслуговування потокового трафіку запитів, доцільно реалізувати адаптивні методи ресурсного резервування. Відтак, за результатами математичного моделювання на прикладі сегменту розподіленої магістральної мережної підсистеми RAN деякої LTE мережі з двома можливими маршрутами пересилання трафіку запитів встановлено підвищення продуктивності сервісної мережної системи за обслугованим навантаженням до 22%, при цьому середній час тривалості користувачьких сесій зростає [8, 10, 23, 39].

У третьому розділі - «Дослідження телекомунікаційних сервісних платформ з відкритою архітектурою» - виконано дослідження моделей і методів визначення статистичних характеристик сервісних вузлів телекомунікаційних платформ із використанням інтерфейсів відкритої системної архітектури (OSA) на прикладі Parlay API [22].

Визначено структурно-параметричні моделі для централізованого і розподіленого варіантів відкритої системної архітектури (рис. 5 а і рис. 5 б, відповідно). На їх основі, із урахуванням математичних моделей системних реалізацій OSA і шляхом проведення експериментів із використанням діючої апаратно-програмної платформи корпоративного масштабу, одержано такі ймовірно-часові характеристики, як середня кількість запитів у сервісній мережній системі, середній час перебування запиту в системі (див. рис. 6), визначено їх залежності від інтенсивності вхідного навантаження, кількості серверів послуг та сервісних застосувань або композитних сервісів, які взаємодіють із базовим сервером послуг телекомунікаційної сервісної платформи.

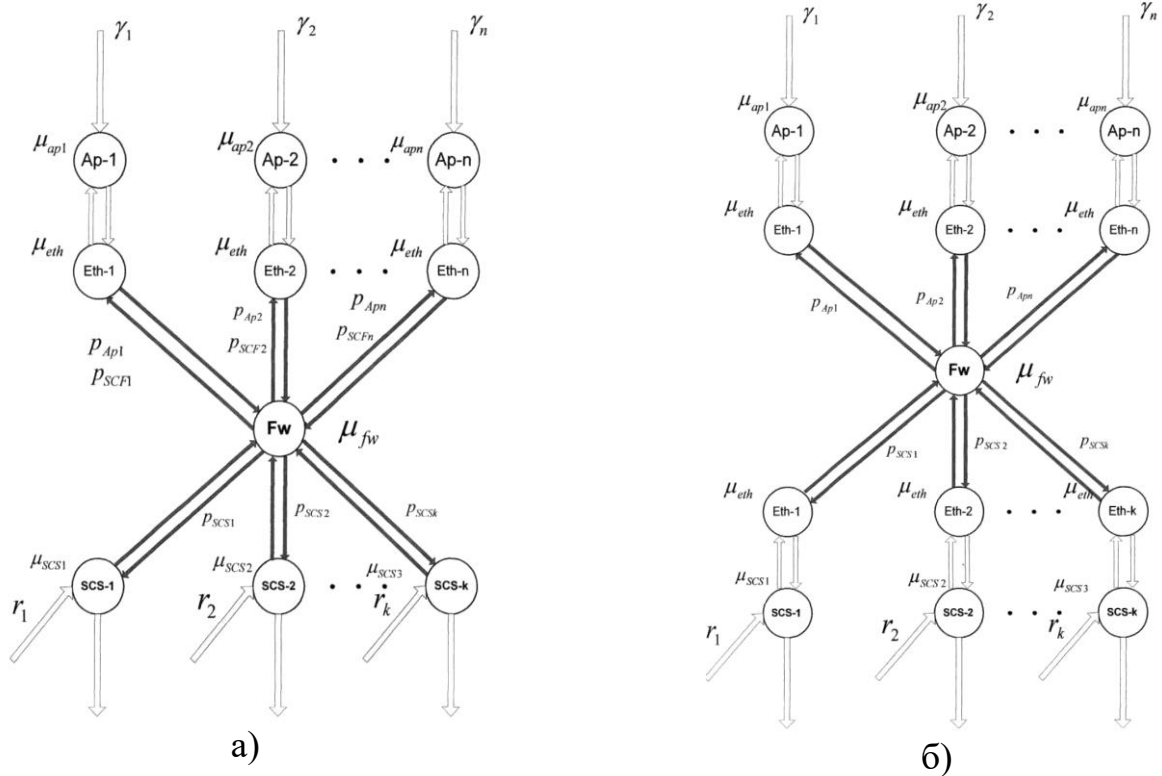


Рис. 5. Структурно-параметричні моделі СМО відкритої сервісної платформи: а) з централізованим сервером послуг/сервісних застосувань; б) з розподіленими серверами послуг/сервісних застосувань (оптимізована архітектура рівня SaaS з підтримкою розпаралелення оброблення даних) [22]

На рис. 5 позначено k серверів послуг, інтенсивності вхідного навантаження на сервіси – $\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_n$, інтенсивності оброблення запитів застосуваннями, засобами мережної платформи, базовим сервером послуг і серверами послуг/сервісних застосувань – $\mu_{ap}, \mu_{eth}, \mu_{fw}$ і μ_{scs} , відповідно, інтенсивності надходження запитів до системи через сервери застосувань позначені – r_1, r_2, \dots, r_n , відповідно [22, стор. 179]. Шляхом моделювання та проведення експериментів встановлено та підтверджено, що централізований та розподілений варіанти реалізації PaaS на основі моделей архітектури рис. 5 практично не відрізняються за імовірнісно-часовими характеристиками в стаціонарному режимі функціонування. Проте, зміна структур та параметрів сервісних мережних платформ OSA архітектури на рівні SaaS чинить вагомий вплив на їх імовірнісно-часові характеристики. Наприклад, на рис. 6 представлено результати дослідження тривалості перебування запитів в PaaS системі при зміні ймовірності виникнення необхідності повторного обслуговування запиту деяким сервісним застосуванням p_{API} (запити обслуговуються напряму сервісом). Застосування телекомунікаційних сервісних платформ із відкритою архітектурою починає давати вигоду відносно характеристик класичного сервісного вузла навіть для складних запитів вже при незначних інтенсивностях вхідного навантаження, а також при відносно невеликій кількості серверів застосувань (більше 7). В результаті досліджень було показано, що вигода може досягати десятків відсотків при опрацюванні складних запитів за участі базового сервера послуг, а середній вигода за системною продуктивністю для стаціонарного режиму функціонування PaaS реалізації, тобто за кількістю вимог, які перебувають

на обробленні у сервісній мережній платформі від застосування відкритої сервісної архітектури становить близько 17%.

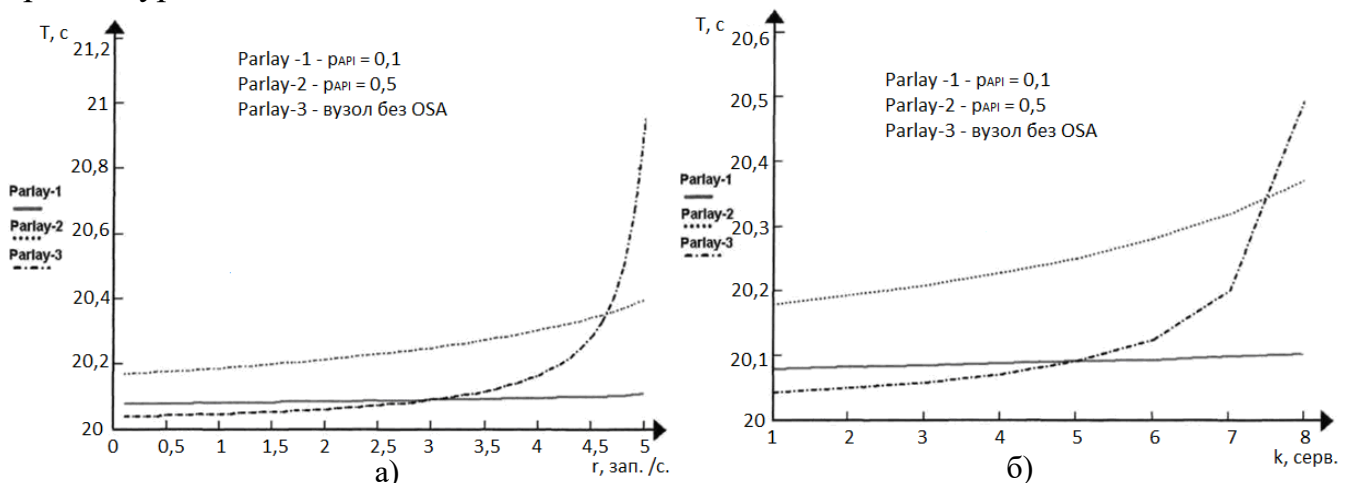


Рис. 6. Залежність середньої тривалості перебування запитів в PaaS системі від: а) інтенсивності їх надходження на сервери послуг/сервісних застосувань; б) від кількості серверів послуг / сервісних застосувань [22, стор. 182-183]

Для подальшого збільшення пропускної здатності розподіленої мережної платформи SOA можливо використовувати метод поліваріантного доступу шляхом створення реплікацій веб-сервісів та балансування між ними навантаження [16]. В розділі також проведено визначення та аналіз критеріїв функціональної стійкості сервісних мережних систем, що дозволило визначити загальний критерій ефективності захисту мультисервісних інфокомунікаційних систем в національному сегменті сервісної мережної інфраструктури, крім цього виконано загальний аналіз загроз поширенню даних та функціональній стійкості у мультисервісних інфокомунікаційних системах, які реалізують телекомунікаційну сервісну платформу національного сегменту глобальної інформаційної інфраструктури та відповідних технічних підходів до протидії цим загрозам [21, 36, 37].

У розділі також виконано експериментальне статистичне дослідження мультисервісного навантаження в гетерогенній корпоративній мережній системі з метою аналізу показників його самоподібності для окремих типів трафіку, зокрема показано, що агрегований потік навантаження має показник Херста – $H \cong 0,639$ (є самоподібним) [11].

SDP, як телекомунікаційні сервісні платформи розглядаються в роботі на усіх трьох найбільш поширених рівнях модельних представлень і реалізації, а саме IaaS, PaaS та SaaS. Пропоновані стратегії адаптації відповідних сервісних реалізацій до поточних умов функціонування ТКСП детально представлено на рис. 11 та рис. 17 а-в. У загальному випадку, ми можемо виділити гіпервізори та інші сукупності елементарних сервісних компонентів (ESC) сервісної платформи або сервісного застосування, що функціонують послідовно (в послідовних сегментах застосувань) (α) в одну групу, а елементарні сервісні компоненти, що функціонують паралельно (у паралель одні з іншими, в паралельних сегментах застосувань) ($n-\alpha$), див. рис. 7, – в іншу. Тут і надалі параметр n означає загальну кількість ESC у деякій моделі сервісної мережної системи.

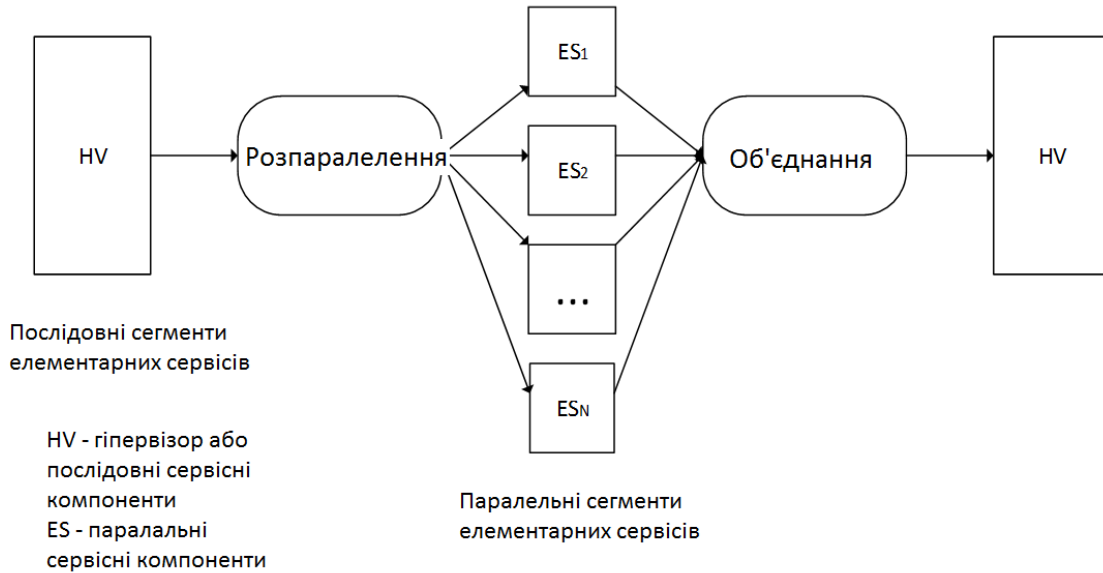


Рис. 7. Паралельні та послідовні сегменти застосувань, як варіант фрагменту елементарної сервісної структури в реалізації SOA [2]

Таким чином, завдання оптимального структурно-параметричного синтезу сервісних мережних платформ може бути зведене до завдання вибору їх оптимальних структурно-композиційних та функціональних параметрів у рамках деякої заданої архітектури виду SOA, а саме оптимального вибору кількості ESC для кожної з двох вище визначених груп у процесі їх комбінування та вбудовування в конкретну реалізацію SDP (рівня IaaS, PaaS або SaaS), див. рис. 16, 17 а-в, рис. 11.

Вектор розв'язку цього завдання $x_{opt} = (\alpha, n, H)$ повинен максимізувати наступну систему співвідношень, яка використовується для математичної формалізації критеріїв синтезу:

$$\begin{cases} x_{opt} = \arg \max P_A \{X(x_{opt}, t) \in D_x, \forall t \in [0, T]\}, \\ x_{opt} = \arg \max_{x_{opt} \in D_x} S_p(x_{opt}). \end{cases} \quad (1)$$

Тут $X(x_{opt}, t)$ є ймовірнісним процесом зміни параметрів вектора x_{opt} , функціонал $P_A(\bullet)$ відображає сервісну доступність, а $S_p(x_{opt})$ є функціоналом структурної продуктивності системи, згідно закону Амдала $S_p(x) = (\alpha + (1-\alpha)/n)^{-1}$, D_x - це область допустимих розв'язків для параметрів вектора x_{opt} , T - час тривалості експлуатації для поточної реалізації SDP. Визначимо область допустимих розв'язків:

$$D_x = \{x \in R^3 : P_{Amin} \leq P_A(x) \leq 1\} \quad (2)$$

Тут P_{Amin} є мінімально допустимим значенням сервісної доступності у синтезованій SDP. Розв'язок для завдання (1) базується на аналізі співвідношень сервісної доступності та параметрів ESC, а також статистичних параметрів

сервісного навантаження, що представлені узагальненим параметром Херста. Перший та другий статистичні моменти навантаження, яке обслуговується відповідним сервісом також є необхідними для проведення нашого дослідження та подальшого моделювання і були одержані експериментально в [11]. Множина внутрішніх параметрів вектора $x_{opt} = (\alpha, n, H)$ може бути представлена як точка всередині R^3 куба, а простір допустимих параметрів вектора x_{opt} додатково обмежується областю допустимих розв'язків D_x (2). Маючи внутрішні параметри SDP, можемо визначити, що:

$$P_A(\bullet) = \frac{1}{N_0} \sum_{i=1}^{N_0} P_i(x, t)(N_0 - i), \quad (3)$$

де $N_0 = N(N-1)/2$, N є кількістю сервісних вузлів у SDP, які агрегують відповідні сервісні компоненти ESCs, та якими підтримують обробники (наприклад, обробники у SaaS реалізації, розгорнуті на VM у деякій PaaS реалізації). В процесі досліджень виявлено, що тривіального розв'язання поставленої математичної задачі немає, тому вона була розбита на часткові підзадачі з використанням адитивного ймовірнісного представлення сервісної доступності складної мережної системи Додонова-Ланде (докладний опис її розв'язання наведено у роботі [9]):

$$P_i(x, t) = \sum_{i=0}^{\alpha} G_i^{E2}(x, t) + \sum_{i=\alpha+1}^n G_i^{E1}(x, t) + \sum_{i=n+1}^N G_i^P(x, t), \quad (4)$$

де перший і другий члени відносяться до послідовних і паралельних сервісних компонентів, відповідно, а третій – характеризує доступність транзитних VM SDP. При цьому кожен наведений компонент (4) враховує ступінь регулярності потоків відмов системи, що відчутно зростає у її паралельних і, особливо, у транзитних сегментах, зокрема – випадків її недоступності при перевантаженнях ТКСП, а також інші параметри. Враховуючи складність одержаних розв'язків, пропонується використовувати (у припущенні обслуговування в ТКСП агрегованого мультисервісного трафіку) апроксимоване співвідношення для розрахунків за (3-4):

$$P_A \approx e^{0.712d-4.955} \left(1 - (H - 0.2)^3\right) \left((1.6 + \lambda + H)N \right)^{1/d} + (2\eta(2.2 - \lambda))^{1/d}, \quad (5)$$

причому похибка апроксимації у граничних умовах складає не більше 2%. У (5) коефіцієнт d характеризує ступінь оптимальності стратегії реплікації/міграції віртуалізованих компонентів у конкретній реалізації ТКСП, таким чином $d \sim 2$ приймається для консервативної стратегії реплікації/міграції (неоптимального конфігурування динамічної XaaS реалізації), $d \sim 4$ – для умовно-оптимальної стратегії (адаптивного конфігурування ресурсів хмарної мережної платформи), λ – інтенсивність навантаження на ТКСП (нормована до максимально можливої), η – частка ESC, які функціонують, обслуговуючи потоки запитів паралельно.

В четвертому розділі роботи – «Розроблення та моделювання процесів забезпечення функціональної стійкості телекомунікаційних сервісних платформ» - проведено дослідження характеристик продуктивності та сервісної доступності телекомунікаційних сервісних платформ у процесі їх структурно-параметричного синтезу, зокрема при масштабуванні; проведено аналіз сучасних

підходів до виявлення та запобігання функціональним втручанням у розподілені мережні системи, проведено розроблення структурно-функціональної моделі та методу мігруючого мережного екрану на основі концепції точок присутності й інформаційної присутності у гетерогенній ТКСП, а також досліджено особливості управління процесами міграції ресурсів.

Результати моделювання сервісної доступності в масштабованій хмарній сервісній платформі, що виконане на основі чисельних розрахунків та апроксимації розв'язків аналітичних залежностей (3-5) представлено на рис. 8 а, б [5, 9].

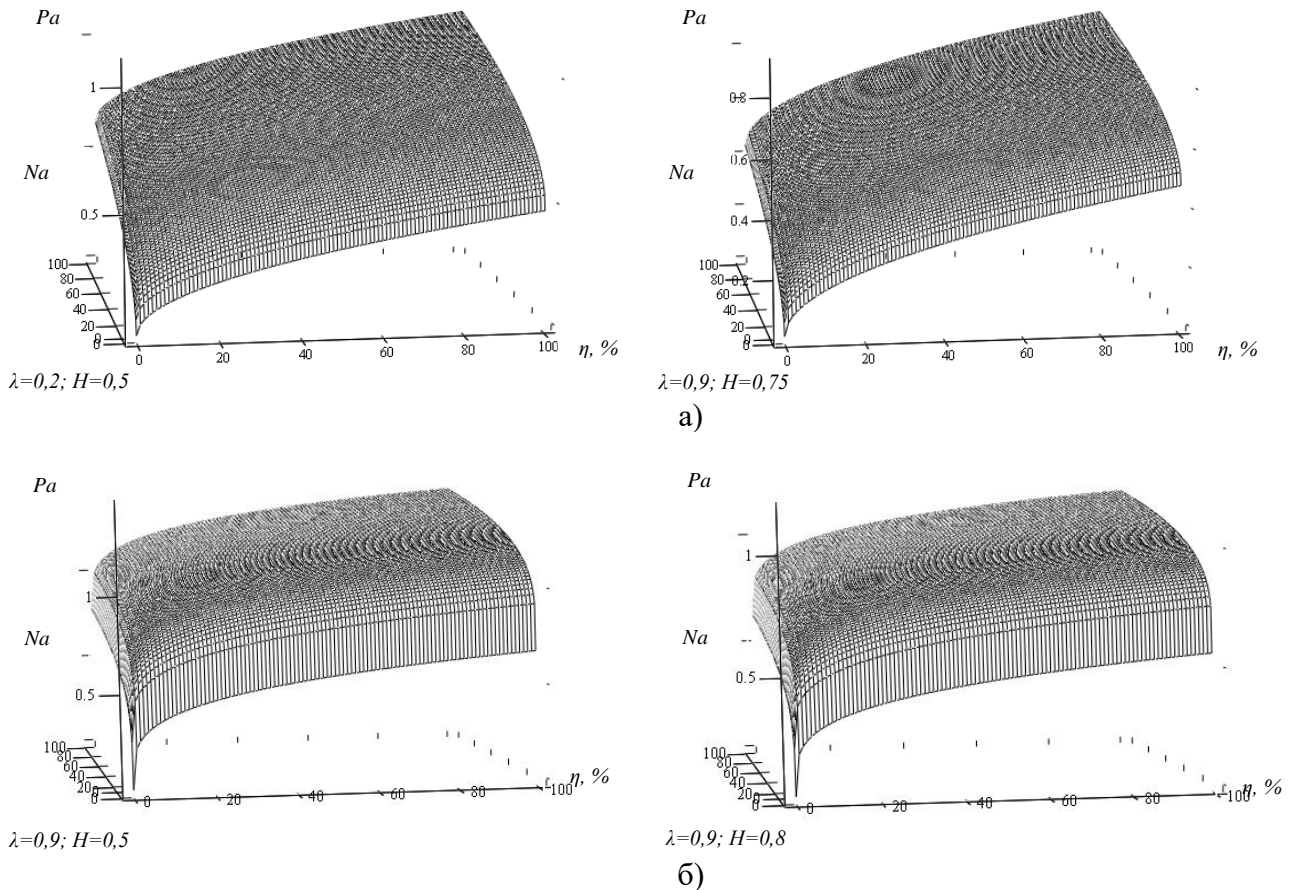


Рис. 8. Результати моделювання сервісної доступності в масштабованій хмарній сервісній платформі [1, 5]

На рис. 8 а представлено випадок неоптимального конфігурування ресурсів хмарної мережної платформи (для прикладу, необхідний ресурс для обслуговування комплексних застосувань SaaS перевищує доступні ресурси віртуальних машин у вузлах сервісної мережної системи PaaS, що підтримують відповідні елементарні сервісні компоненти). Параметри навантаження λ (нормоване до максимально можливого) та значення параметру Херста H для агрегованого вхідного трафіку обраного сегменту ТКСП вказані під відповідними залежностями. Pa – узагальнена сервісна доступність хмарної мережної платформи в стаціонарному режимі функціонування; η – частка ESC, які функціонують, обслуговуюючи потоки запитів паралельно, у відсотках; Na – кількість сервісних вузлів у хмарній мережній платформі. На рис. 8 б представлено випадок адаптивного конфігурування ресурсів хмарної мережної платформи міграцією віртуальних машин (необхідний ресурс для обслуговування комплексних застосувань SaaS наближено відповідає доступним

ресурсам віртуальних машин у вузлах сервісної мережної системи PaaS, що підтримують потрібну конфігурацію елементарних сервісних компонентів).

За результатами моделювання визначено, що в якості оптимального співвідношенням η/α можливо прийняти $0,6/0,4$. Вплив показника Херста на сервісну доступність якісно проявляється при його високих значеннях, вказуючи на те, що самоподібний трафік відчутно знижує її. Можна показати, що в умовах дефіциту ресурсів або неоптимального конфігурування хмарної сервісної платформи, для самоподібного трафіку можливе погіршення даного показника в середньому від 15 % при $\lambda=0,2$ до 30% при $\lambda=0,9$. За умов застосування адаптивного конфігурування ресурсів хмарної мережної платформи з міграцією віртуальних машин (наприклад, в рамках оптимальної реалізації моделі PaaS), подібне зниження сервісної доступності не перевищить 5-10% (див. рис. 8 б), а при кількості сервісних вузлів більше 40 – стає невідчутним, тобто ефект від реалізації архітектури ТКСП згідно моделі PaaS на основі деякої IaaS телекомунікаційної інфраструктури становить від 10 до 20%. Оцінювання ступеню паралельності структури відповідного рівня сервісної реалізації Хаас виконується за методом Ватутіна.

З метою визначення найбільш ефективних методів та засобів підтримування функціональної стійкості сервісних мережних систем було досліджено сучасні методи організації мережних екранів, підходів до їх використання та системного реконфігурування під дією зовнішніх утручань. Запропоновано використання засобів адаптивного мережного екрану, що реплікуються та виконують функції мережного моніторингу в заданих ділянках сервісної мережної платформи. При цьому застосовується виділення небажаної активності на технічному (мережному) та семантичному (інформаційному) рівні – поряд із поняттям точок операторської присутності (взаємопідключення) (PoP) запропоновано використовувати поняття точки інформаційної присутності (PoIP), у якій визначається присутність небажаних за змістом інформаційних потоків. Фільтрація навантаження у всіх сучасних засобах мережного екранування відбувається на основі застосування принципів законного перехоплення та глибокого аналізу змісту пакетів даних (технологія DPI).

Отже, запропоновано структурно-функціональну модель та метод мережного екрану, що дозволяє адаптивно коректувати правила фільтрації потокового навантаження у хмарній мережній платформі та реплікувати власні обчислювальні засоби – мігруючого мережного екрану або Migrating Firewall (MF) (рис. 9).

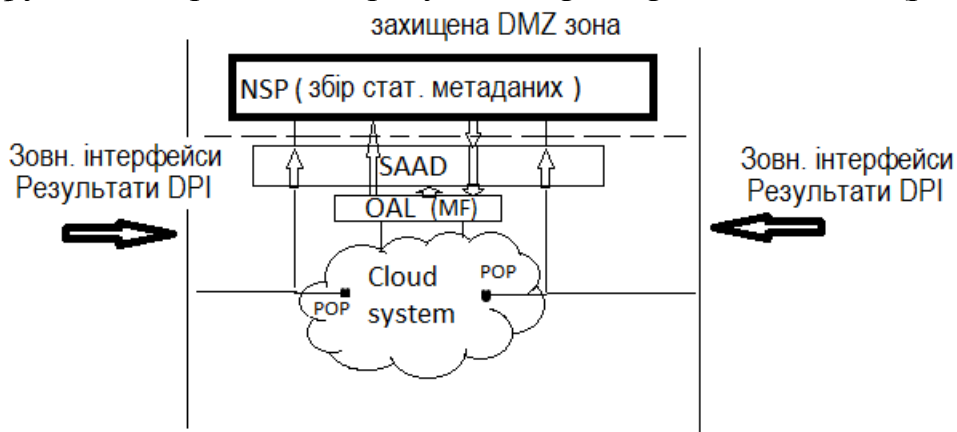


Рис. 9. Структурно-функціональна модель мігруючого мережного екрану [28]

На рис. 9: NSP – номінальний статистичний профіль, який формується під час стаціонарного функціонування мережної системи, дозволяючи виявлення нетипової мережної активності, SAAD – система визначення аномальної мережної активності, OAL (MF) – аналітичний шар, який реалізується реплікованими засобами мігруючого мережного екрану, здійснює збір даних DPI-фільтрування та передає їх через SAAD для первинного оброблення, поступово формуючи NSP. SAAD встановлює також правила фільтрування навантаження для виявлення різного роду мережних атак, зокрема пірингових, виду DDoS тощо. OAL може за командами SAAD виявляти маркери небажаної інформаційної присутності в системі, визначаючи тим самим PoIP. NSP незалежно контролює та коректує логіку функціонування SAAD, яка приймає рішення щодо ізоляції груп мережних інтерфейсів або правил відбору інформації на основі DPI фільтрування.

У роботі також досліджено завдання оптимальної міграції віртуальних машин (реплікації носіїв сервісних компонентів) в масштабованій сервісній мережній платформі за критеріями консолідації ресурсів обчислювальних потужностей, враховуючи показники коефіцієнтів використання процесорів та пам'яті серверів [12], відповідні схеми реалізації процедур призначення/реплікації та міграції віртуальних машин, які дозволяють налаштувати динаміку реплікації/міграції компонентів PaaS реалізації ТКСП подано на рис. 11 а та рис. 11 б, відповідно.

У п'ятому розділі – «Розроблення методів оптимізації конвергованих ресурсів мережно-залежних рівнів гетерогенних розподілених сервісних систем» - проведено пошук шляхів оптимізації ресурсів множини взаємоп'єднаних сервісних мережних платформ. Розглянуто запропонований метод та алгоритм наскрізного структурного трасування, що дозволяє оперативне визначення структурних змін, а отже – і відмов мережних елементів, а також флуктуацій обсягів трафіку в телекомунікаційній сервісній платформі [26, 29, 38] (див. рис. 10).



Рис. 10. Алгоритм коректування вагових коефіцієнтів маршрутних метрик для балансування сервісного навантаження за допомогою наскрізного структурного трасування в хмарній мережній платформі [5]

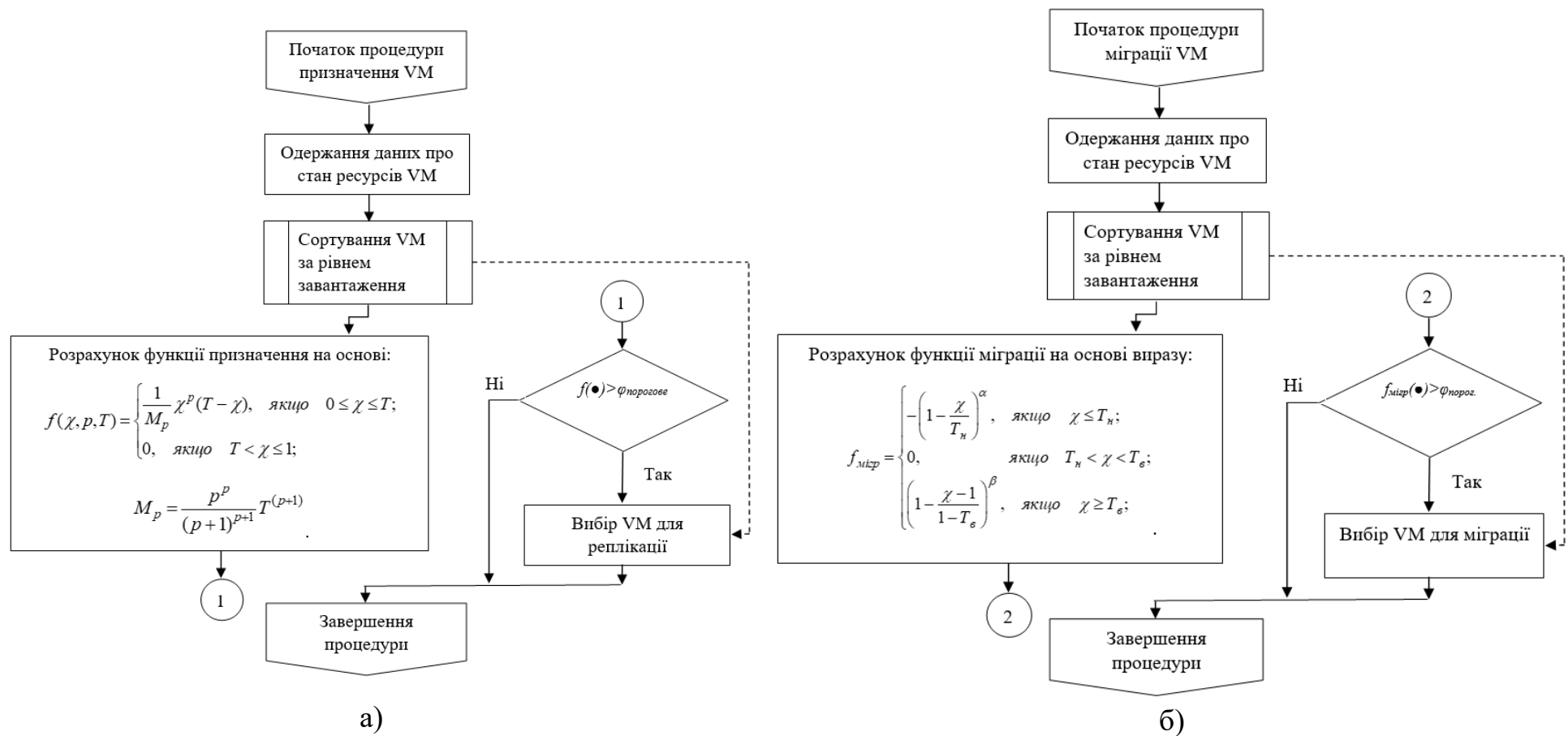


Рис. 11. Схеми реалізації: а) процедури призначення віртуальної машини, де p – коефіцієнт стратегії призначення, T – допустимий рівень використання ресурсу, χ - відносний рівень використання ресурсу, φ – поріг прийняття рішення; б) процедури міграції віртуальної машини, де α , β – коефіцієнти вибору стратегії міграції, T_n , T_s – нижній та верхній пороги використання ресурсів для ініціації процедури міграції віртуальної машини, відповідно, χ - відносний рівень використання ресурсу

Як показало проведене моделювання, застосування запропонованого методу та алгоритму дає змогу оперативно і динамічно визначати структурно-топологічні зміни в хмарній мережній платформі, а це, в свою чергу, покращує балансування навантаження в сервісних вузлах, виконуючи плавну міграцію основних інформаційних потоків та, відповідно, сервісних компонентів за межі областей мережної системи із високим навантаженням і структурними неоднорідностями. Таким чином, у хмарних мережних платформах масштабу 100 вузлів покращення доступності сервісних компонентів може досягнути 10%.

В сучасних умовах постає необхідність підтримування гнучкої користувацької мобільності (зокрема в рамках реалізації концепції повсюдного комп'ютингу), що може бути забезпечена інтелектуальним вертикальним хендвером – технологією безперервного підтримування та передачі з'єднань на обслуговування від одної телекомунікаційної системи до іншої, використовуючи доступні мережні ресурси гетерогенних сервісних платформ (див. рис. 12, нижче) [15, 31].

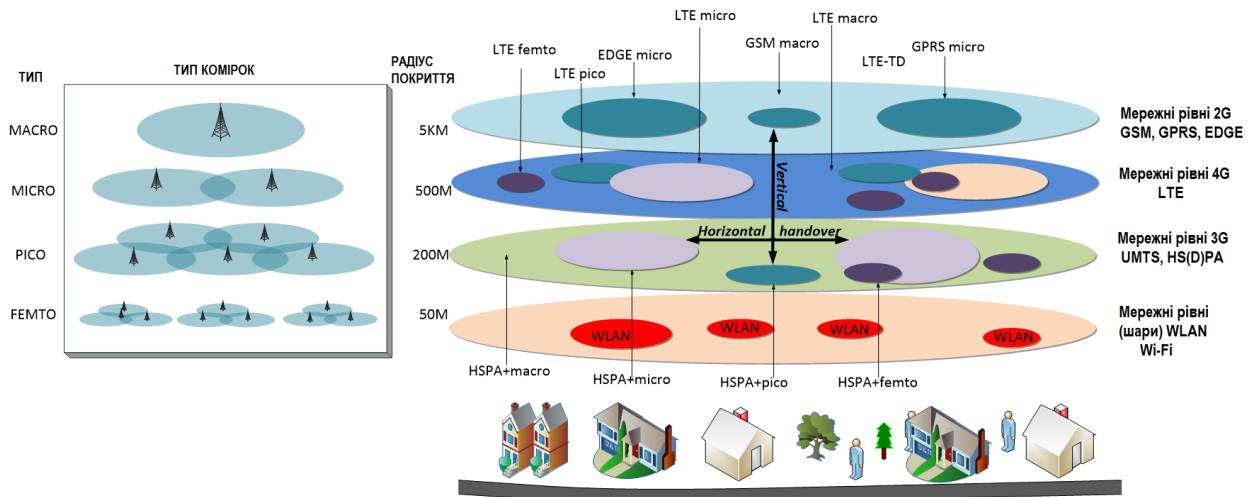


Рис. 12. Гетерогенна телекомунікаційна платформа, як взаємоп'єднання мереж безпроводного доступу [15, 31]

Типова гетерогенна (безпроводна) мережна платформа забезпечує функціонування різних технологій доступу з різними параметрами та функціональними характеристиками. В загальному ці параметри неможливо порівнювати напряму. Таким чином, з метою їх нормалізації та агрегування для прийняття рішення щодо ресурсного перерозподілу використовуються підходи, методи та алгоритми на основі теорії нечітких множин. Побудовано математичну модель, яка дозволяє ухвалити обґрунтоване рішення щодо процедури вертикального хендвера в ТКСП (див. рис. 12) за множиною взаємопов'язаних критеріїв (групи QoS, зокрема імовірно-часових параметрів і тих, що описують властивості доступних радіоінтерфейсів, зокрема рівень сигналу, навантаженість тощо). Використано підхід багатоступеневого умовного зважування значень критеріїв під час процедур фазифікації-дефазифікації за допомогою трикутних нечітких чисел.

Для демонстрації запропонованих методів розроблено імітаційну комп'ютерну модель гетерогенної телекомунікаційної платформи безпроводного доступу, яка дозволяє перевірити та верифікувати їх на практиці (див. рис. 13).

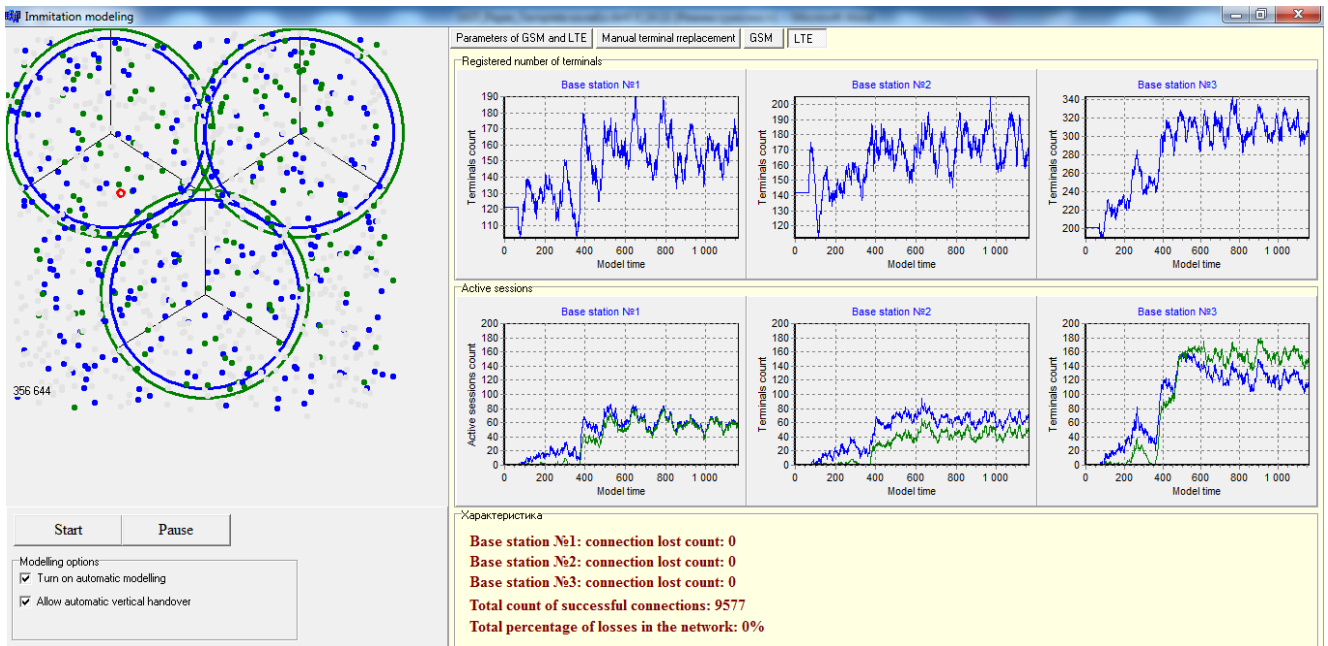


Рис. 13. Інтерфейс імітаційної програмної моделі гетерогенної телекомунікаційної платформи на основі LTE та GSM систем, представлено моніторинг зареєстрованих та переключених груп користувачів у LTE комірках [15]

Відповідно, найбільш оптимальний результат у вигляді агрегованої оцінки для виконання інтелектуального вертикального хендOVERу (та перерозподілу мережних ресурсів гетерогенної телекомунікаційної платформи, див. рис.12, 13) був одержаний для вузла доступу BS2 (мережна система LTE) (це показано на рис. 14). Результат для вузла доступу BS1 (мережна система LTE) є нижчим, хоча, згідно функції належності, належить до того ж самого лінгвістичного терму «Високий». Таким чином, методи нечіткої математики кількісно демонструють різницю між якісно однорідними розв'язками багатокритерійного оптимізаційного завдання розподілу конвергованих ресурсів гетерогенних розподілених ТКСП.

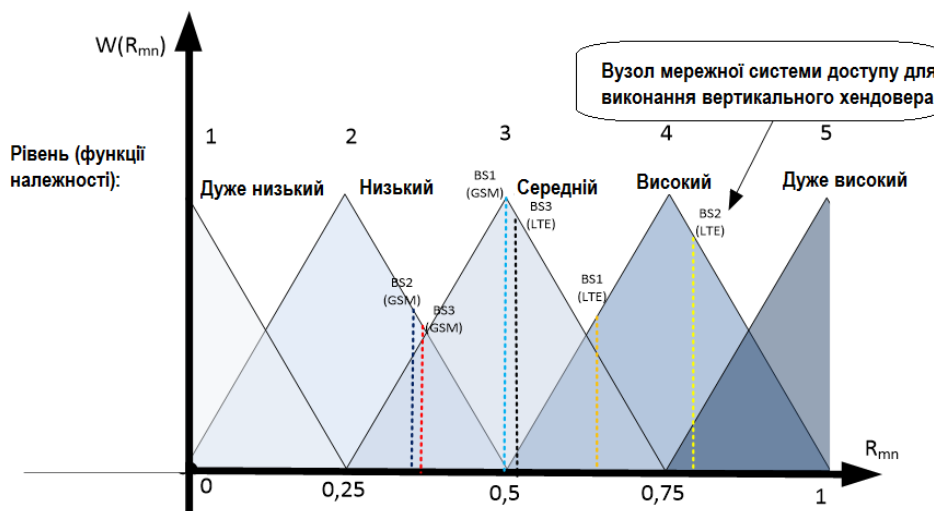


Рис. 14. Визначення оптимального вузла гетерогенної телекомунікаційної платформи доступу для виконання вертикального хендOVERу з використанням установленної шкали Лікерта [15]

Шостий розділ роботи – «Дослідження особливостей трансформації архітектури телекомунікаційних сервісних платформ для застосування в критично важливих системах національного масштабу» - присвячений адаптації розробленої у дисертації методології для трансформації телекомунікаційних сервісних платформ з метою їх прикладного застосування в критично важливих інфокомунікаційних системах національного масштабу.

Зокрема, запропоновано вдосконалений метод обслуговування черг на основі диференціації сервісів у моделі IaaS [4] (MPQ). Перевага даної моделі та запропонованого методу в тому, що гарантується забезпечення якості надання послуг на всьому шляху передавання відповідних потоків пакетів за рахунок невикористаних ресурсів сервісів визначеного пріоритету. Тим самим, незначно коректуючи затримку високопріоритетних пакетів у допустимих або прийнятних межах, можливо забезпечити гарантовану якість обслуговування для послуг із низьким пріоритетом, поточна затримка яких досягнула критичного рівня. Очевидно також, що можливо зменшити затримку деяких високопріоритетних інформаційних потоків та підтримати необхідний рівень якості заданого сервісу за рахунок незначного, у допустимих межах, збільшення затримки низькопріоритетних потоків, що є важливим для забезпечення оперативності передавання окремих спеціалізованих потоків даних реального часу. Окремі віртуалізовані маршрутизатори оптимізованої згідно стратегії рис. 17 в. IaaS реалізації можуть одночасно обслуговувати диференційовані за пріоритетами та типами потоки трафіку [1, 2].

З метою імітаційного комп'ютерного моделювання розроблений комплексний програмний продукт, придатний для моделювання маршрутизатора з алгоритмом, який використовує черги різної пріоритетності та який повністю відображає роботу реального маршрутизатора (типу Cisco series 2800) з похибкою отриманих результатів у 2 мкс, що, на думку автора, достатньо строго підтверджує адекватність розробленої моделі [4]. За результатами проведених експериментів підтверджено, що в умовах значного підвищення рівня навантаження телекомунікаційної платформи, яка обслуговує агрегований трафік з використанням MPQ, досягнуто показники затримки і джитера трафіку IPTV сервісу на рівні значень, які спостерігались при низькому рівні завантаженості. Отже, існує можливість оброблення потоків реального часу (наприклад, сервісу IPTV), які є критичними до затримки, з мінімальними її значеннями в умовах високого навантаження ТКСП. В ідеальних умовах досягається підвищення рівня якості сервісу до 7 разів. Така оцінка були одержана на основі визначення показника стабільності часових параметрів якості, якими є джитер та тривалість затримки.

Розроблене рішення є особливо ефективним при розв'язанні завдань підвищення оперативності доставки контенту, чутливого до часу (інформації керування, відеоспостереження, в т.ч. за периметром кордону, визначених об'єктів, зокрема в диспетчерських мережах, ПВО-ПРО), а також актуальними для мереж, які потребують застосування ефективних методів шифрування, що створюють додаткові затримки у мережних вузлах [4].

У дисертаційній роботі запропоновано методи аналітичного представлення мережних метаданих (інформації про структурний розподіл мережних потоків) шляхом їх репрезентації у якості об'єкта для цифрового голографічного перетворення та створення компактного голографічного образу, втрата або пошкодження частини якого не призведе до втрати всіх даних. Визначено модель та методи для здійснення прямого та зворотного перетворення зазначених даних і підходи до прогнозування поведінки складних мережних об'єктів при виникненні структурно-параметричних змін [34].

Досліджено та проаналізовано системну архітектуру для фіксації та накопичення метаданих комунікаційної активності мережних користувачів у центрах оброблення даних національного рівня, запропоновано оптимізовану за основними технічними показниками структуру їх SaaS та PaaS реалізацій [35, 40].

На основі проведених у дисертаційній роботі досліджень було сформовано низку методів, які умовно можна поділити на методи покращення параметрів Хаас реалізацій ТКСП та методи підтримки функціональної стійкості ТКСП. Функціональна стійкість представляється не кількісним критерієм, що, по суті, є похідним від критеріїв продуктивності та сервісної (або компонентної) доступності Хаас реалізації, що розглядається, при цьому визначаються правила сегментації та рекомендації щодо захисту ТКСП від функціональних впливів іззовні. Таким чином, у розділах розділах дисертаційної роботи сформовано та докладно розглянуто елементи методології синтезу телекомунікаційних сервісних платформ національного масштабу (див. рис. 1). На основі цих елементів, а також допоміжних методів та підходів, які виходять за рамки проблематики досліджень цієї дисертаційної роботи було сформовано ієрархічну методологію синтезу телекомунікаційних сервісних платформ національного масштабу (див. рис. 16). Вона, окрім зазначених на рис. 1 компонентів, включає також метод експертних оцінок, метод Е.І. Ватутіна для розрахунку ступеню паралельності структури та/або алгоритму відповідного рівня сервісної реалізації Хаас на основі побудованої граф-моделі. Метод експертних оцінок передбачає агрегування одержаних в результаті застосування розробленої методології результатів для цілісного врахування досвіду фахівців у сфері ТКСП і особливостей їх прикладної реалізації під ті чи інші цілі (у поточних умовах функціонування).

Оскільки кожен рівень реалізації (та, відповідно, представлення) Хаас ТКСП вимагає більш детального розгляду, узагальнені стратегії адаптації рівнів реалізації телекомунікаційних сервісних платформ (SaaS, PaaS, IaaS) представлено на рис. 17 а, рис. 17 б та рис. 17 в, відповідно. Адаптація SaaS та PaaS реалізацій передбачає застосування бібліотек для утворення інфраструктури віртуалізації, таких як VMWare та HyperV з метою ефективного програмного управління процедурами віртуалізації, реплікації, міграції віртуальних машин та, зокрема, віртуальних обробників навантаження.

На рис. 15 представлено узагальнену схему мультисервісної пакетної мережі ПАТ «Укртелеком» (наведено з люб'язного дозволу цієї компанії). Протягом 2011-2016 років було проведено ряд досліджень, які стосувались оптимізації показників продуктивності та сервісної доступності відповідних IaaS та PaaS реалізацій (див. рис. 17 г). Застосовано розроблену методологію синтезу телекомунікаційних

сервісних платформ національного масштабу (рис. 16-17 а-в), згідно якої на потужностях ПАТ «Укртелеком» (див. рис. 15) було проведено ряд послідовних трансформацій шляхом конфігурування магістрального комунікаційного обладнання компанії. При цьому враховано поступову переорієнтацію на проектування та впровадження IMS (IP Multimedia Subsystem) інфраструктури у регіональних філіях. Дослідження щодо надання сервісів у мультисервісній телекомунікаційній платформі та їх результати підтверджуються матеріалами акту впровадження результатів дисертаційної роботи (див. додатки).

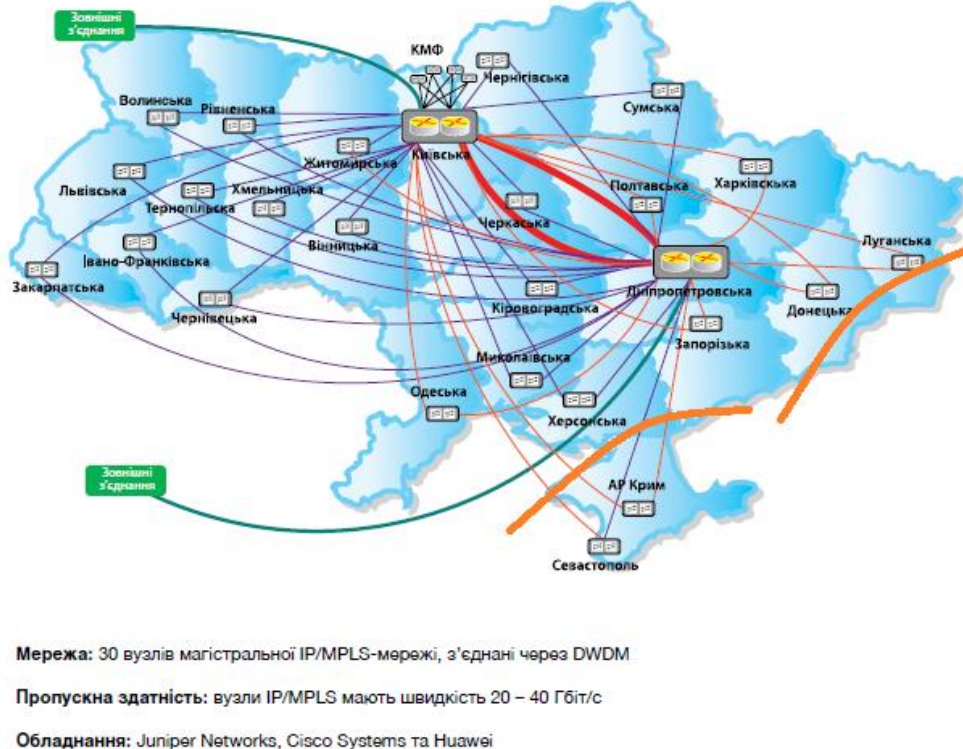


Рис. 15. Приклад IaaS платформи, як мультисервісної пакетної мережі ПАТ «Укртелеком» для реалізації інших платформи національного масштабу (наприклад PaaS реалізації ТКСП ДПСУ) [25]

Дані моделювання за етапами трансформування мереж від SEN до CBN концепції, що виконані у середовищі Qt5.2 відносно ТКСП рис. 15 представлено на рис. 17 г, на яких також наведено для порівняння фактично досягнуті показники щодо функціонування телекомунікаційних сервісних платформ ПАТ «Укртелеком» на рівнях IaaS та PaaS реалізацій. Похибка моделювання по відношенню до фактичних даних складає не більше 5-8%. За останні два роки на рівні PaaS досягнуто 35% підвищення продуктивності, а на рівні IaaS – 1,3% підвищення рівня сервісної доступності, таким чином на рівні PaaS реалізацій забезпечено показник середньорічної сервісної доступності не нижче 0,99999.

У **висновках** дисертаційної роботи викладено основні результати і висновки з проведених досліджень, представлено та охарактеризовано кількісні оцінки показників ефективності масштабованих телекомунікаційних сервісних платформ.

У **додатках** до дисертації долучено обрані початкові коди розробленого програмного забезпечення, акти впровадження результатів дисертаційної роботи, а також список наукових праць і апробацій автора за темою дисертації.

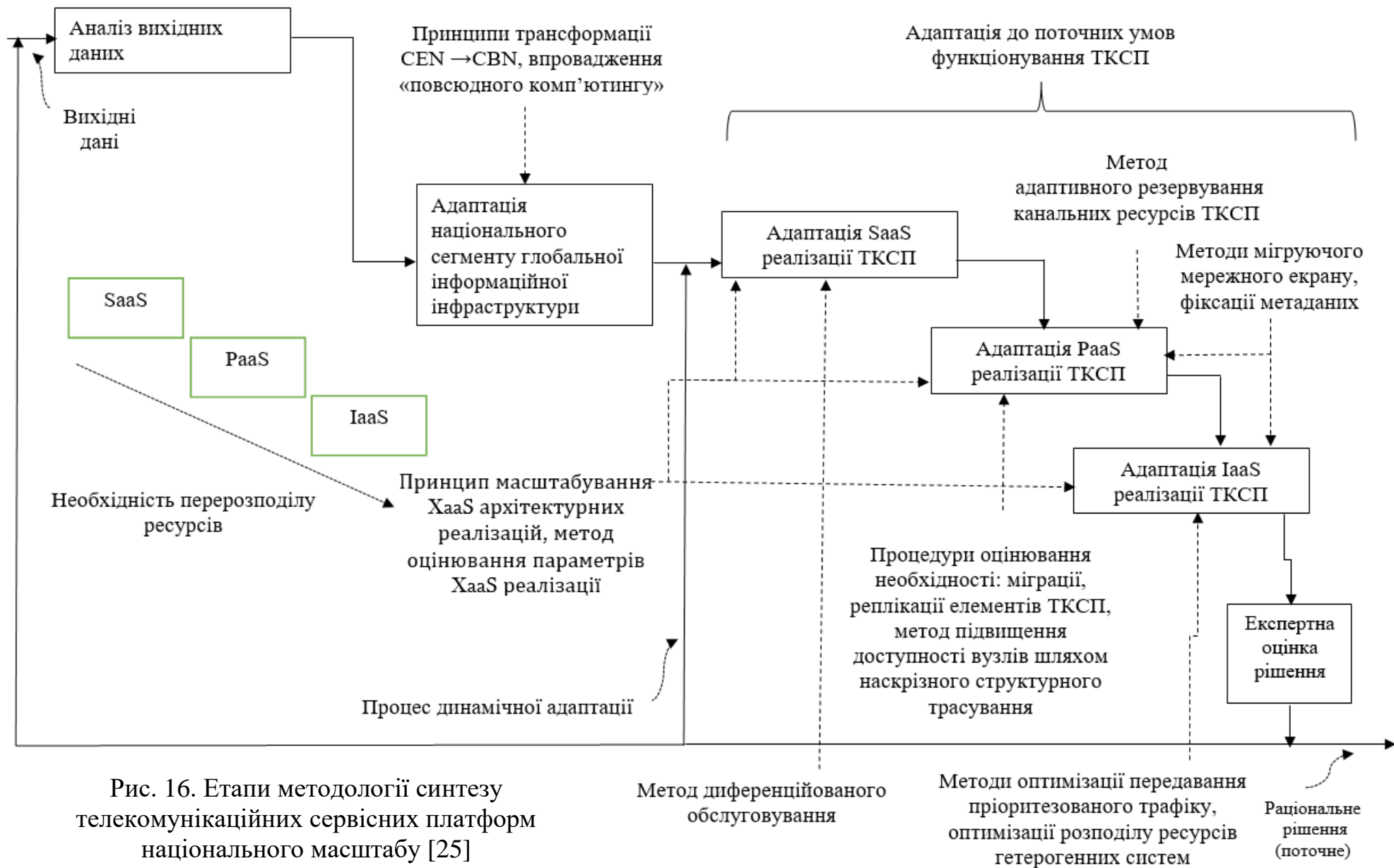
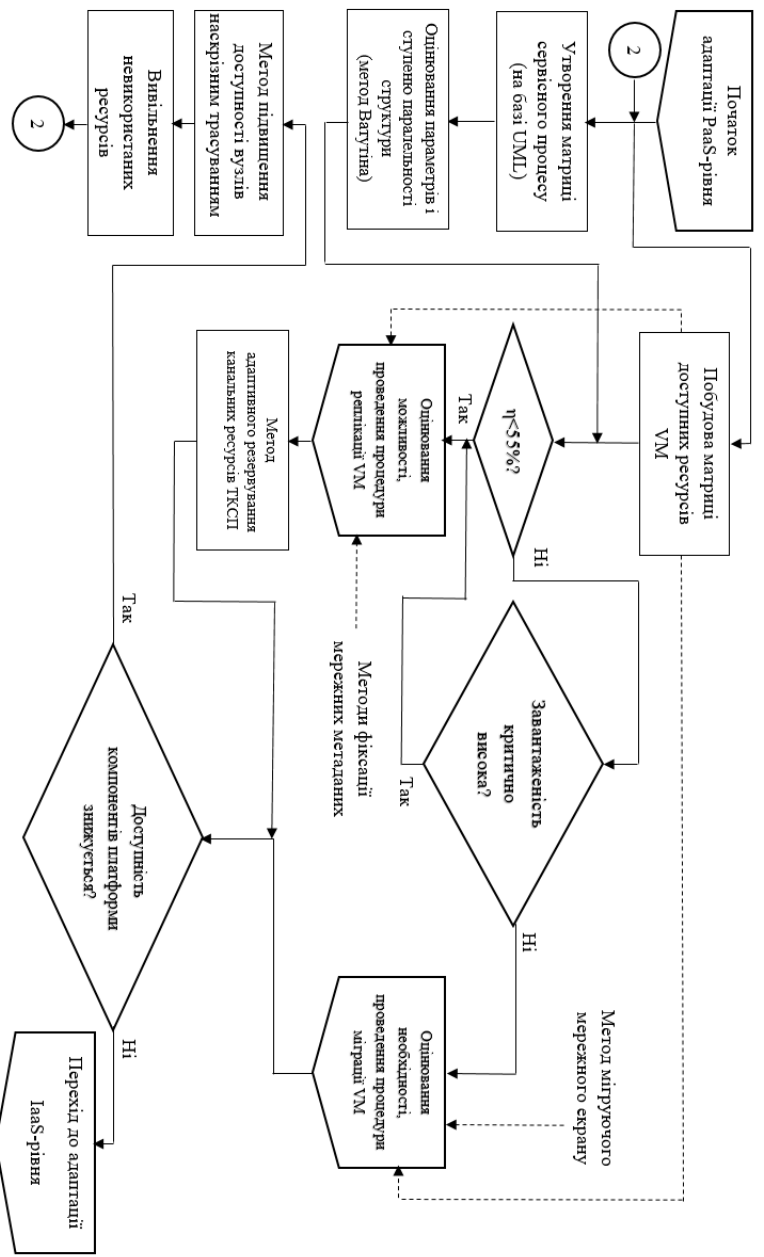
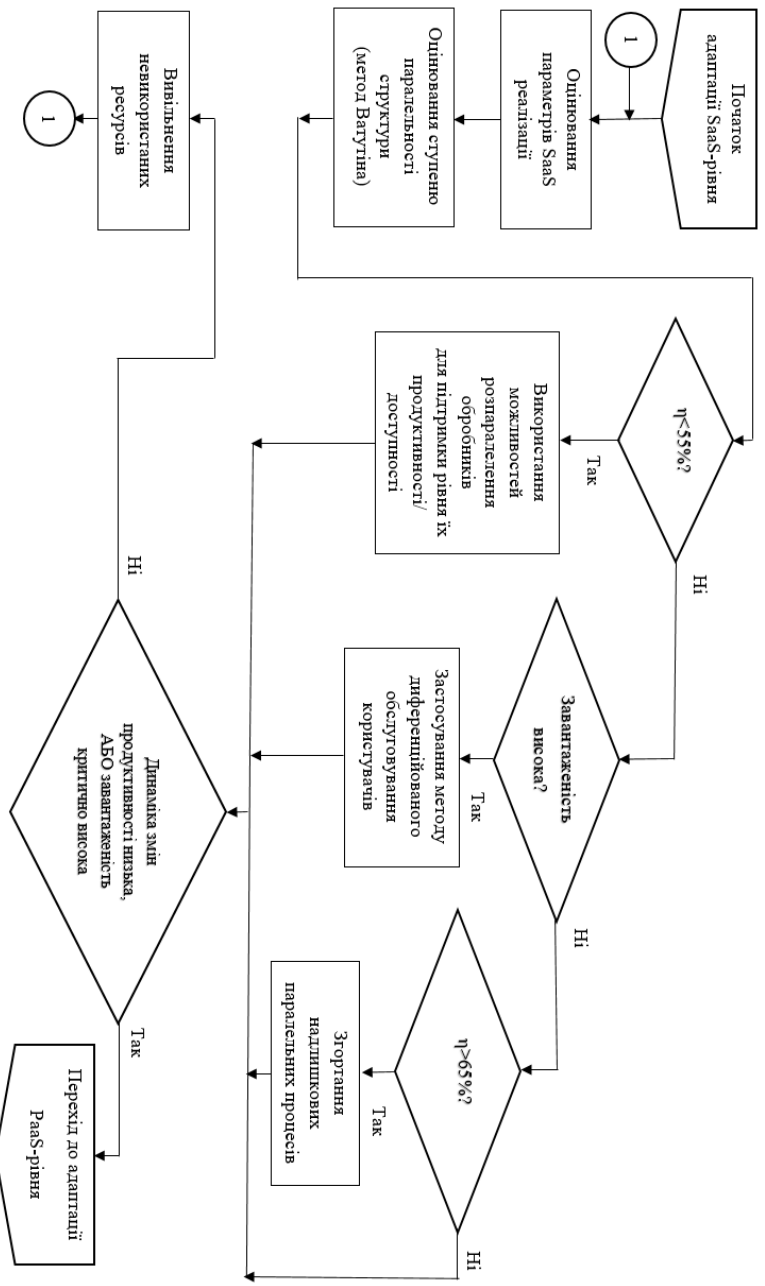
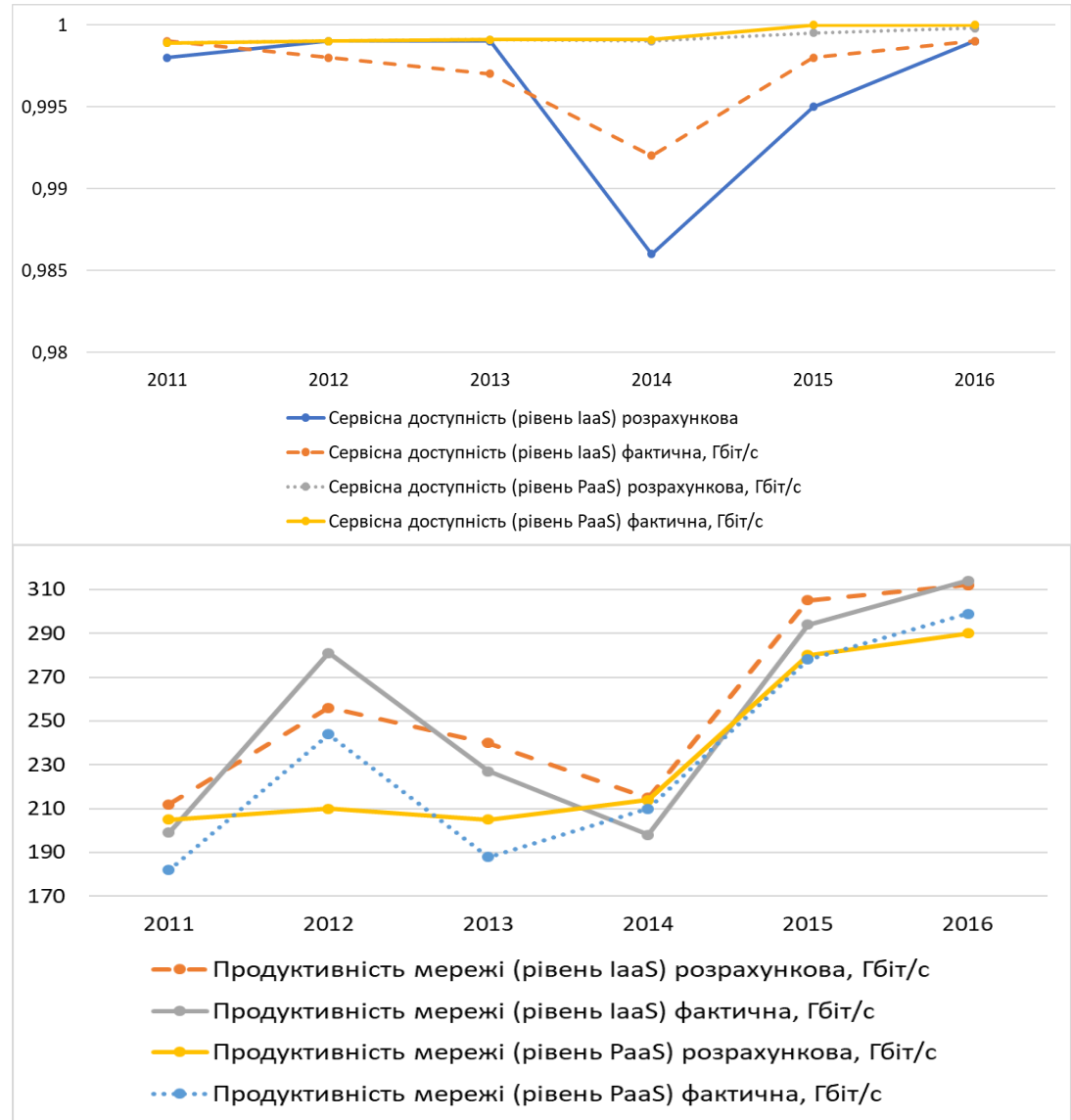
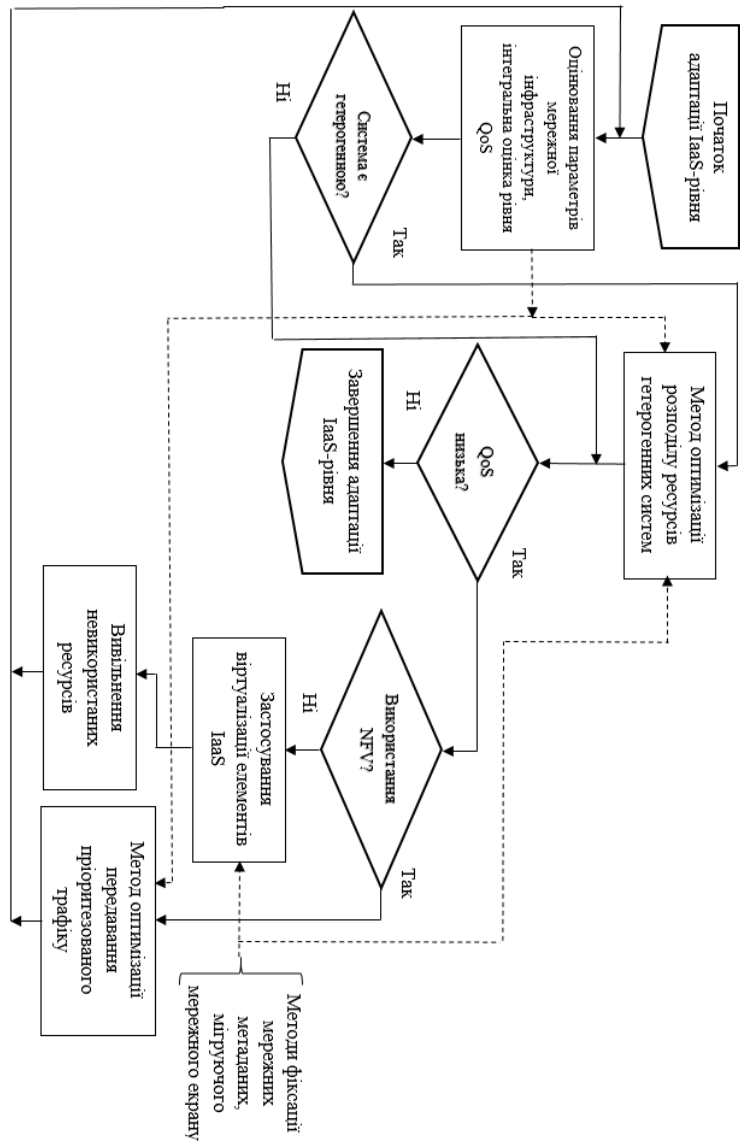


Рис. 16. Етапи методології синтезу телекомунікаційних сервісних платформ національного масштабу [25]



в)



з1

Рис. 17. Стратегії адаптації а) SaaS реалізації, б) PaaS реалізації, в) IaaS реалізації телекомунікаційних сервісних платформ, г) результати застосування запропонованої методології при розвитку ТКСП ПАТ «Укртелеком» протягом 2011-2016 років

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі розв'язано наукову проблему розроблення методологічного забезпечення синтезу телекомунікаційних сервісних платформ національного рівня для оптимального впровадження концепції повсюдного комп'ютингу (розподілених обчислень) із заданими рівнями якості сервісу, продуктивності та функціональної стійкості.

За результатами розв'язання поставленої проблеми можна зробити такі висновки:

1. На основі аналізу опублікованих праць та проведених теоретичних досліджень запропоновано формувати національний сегмент глобальної мережної інфраструктури, використовуючи телекомунікаційні сервісні платформи, які реалізують неперервний моніторинг, оперативне системне адміністрування і держнагляд, зокрема у галузі мережної безпеки, а отже володіють необхідними рівнями захищеності та функціональності. Будучи реалізованими у вигляді множини довірених ЦОД, які поширюють єдину мережну політику на всіх операторів інфокомунікацій, телекомунікаційні сервісні платформи національного мережного сегменту стають взаємоінтероперабельними, дозволяючи надавати послуги в обсягах, що необхідні у конкретні періоди часу для конкретних груп користувачів.

2. Виконано дослідження ефективності застосування групи методів підвищення системної продуктивності телекомунікаційних сервісних платформ, зокрема диференціації обслуговування користувачів (підвищення до 16%), адаптивного резервування мережних ресурсів сегменту мережної системи (покращення до 20%). Застосування відкритої (розподіленої) системної архітектури дозволяє підвищити продуктивність платформи за кількістю обслугованих вимог до 17% у порівнянні з їх обробленням у класичних (централізованих) серверних вузлах; крім того підвищується масштабованість сервісних мережних систем, а застосування методу поліваріантного доступу дало змогу збільшити пропускну здатність веб-сервісу, що реалізується на основі розподіленої мережної платформи.

3. Виконано експериментальне статистичне дослідження мультисервісного навантаження в гетерогенній телекомунікаційній мережній системі з метою аналізу показників його самоподібності для окремих типів трафіку, показано, що основні типи навантаження мають доволі високий ступінь самоподібності, зокрема трафік сервісів генерування інтернет даних (нереального часу) – $H \cong 0,685$, IP-телефонії – $H \cong 0,981$, відео за запитом (VoD) – $H \cong 0,608$, передавання службових даних – $H \cong 0,719$.

4. Проведено визначення та загальний аналіз загроз поширенню даних та критеріїв функціональній стійкості у реалізаціях телекомунікаційних сервісних платформ національного сегменту глобальної інформаційної інфраструктури та відповідних підходів до протидії цим загрозам. Підвищення функціональної стійкості архітектури сервісних мережних систем до зловмисних зовнішніх впливів на їх функціональну стабільність дозволить нівелювати наслідки від застосування мережних атак, а саме зниження кількості працездатних сервісних вузлів і, відповідно, обсягів загальних ефективних обчислювальних потужностей, а отже – запобігти критичному зниженню рівня сервісної доступності. Тому розвиток

технологій мережних екранів є необхідним рішенням. У роботі розроблено концептуальні основи для реалізації методу мігруючого мережного екрану та описано загальний алгоритм його функціонування. Таке рішення, на відміну від відомих, дозволяє уникати міграції обчислювальних ресурсів, є більш гнучким за рахунок статистичного виявлення аномальної мережної активності шляхом фільтрування трафіку, ізолювання точок небажаної інформаційної присутності, зокрема відповідних інформаційних потоків, контенту, портів, мережних інтерфейсів.

5. Запропоновано та промодельовано метод розподілу конвергованих ресурсів мережно-залежних рівнів гетерогенної сервісної платформи на основі застосування теорії нечітких множин, що дає змогу прийняти обґрунтоване рішення щодо проведення процедури вертикального хендвера, базуючись на групі QoS-залежних критеріїв у амбівалентній ситуації, наприклад, коли користувач знаходиться на границі покриття її комірок, а також метод динамічної корекції маршрутних метрик шляхом наскрізного структурного трасування в хмарних мережних системах (динаміка покращення сягає до 10% у масштабі кластера хмарної мережної платформи близько 100 сервісних вузлів). Показано, що така кластеризація хмарних систем дає змогу досягати найбільшої ефективності, що узгоджується з результатами моделювання сервісної доступності та системної продуктивності телекомунікаційної сервісної платформи.

6. Запропоновано узагальнену методологію синтезу телекомунікаційних сервісних платформ національного масштабу за критеріями сервісної доступності та системної продуктивності. На основі доведення оптимальної структурної композиції у співвідношенні їх розпаралелених та послідовних компонент за принципом «золотого січення» ($\sim 0,6/0,4$) виконано експериментальну науково-виробничу трансформацію мультисервісних IaaS та PaaS мережних систем ПАТ «Укртелеком» за період 2011-2016 років. За останні два роки на рівні PaaS досягнуто 35% підвищення продуктивності, а на рівні IaaS – 1,3% підвищення рівня сервісної доступності (мале значення приросту рівня сервісної доступності відображає ступінь складності при його досягненні або підтримуванні на середньорічних показниках у змінних умовах експлуатації телекомунікаційних платформ). На рівні PaaS реалізації забезпечено показник середньорічної сервісної доступності 0,99999. Запропоновано та верифіковано протокольні засоби зменшення затримок передавання високопріоритетного мережного трафіку у 2-7 разів (у залежності від поточного рівня завантаженості ТКСП), що є зручними для імплементації NFV підходу щодо реалізації віртуалізованих розпаралелених обробників навантаження.

7. Запропоновано нові підходи до аналізу та фіксації великих обсягів функціональних мережних метаданих, розглядаючи їх, як цілісну сутність шляхом цифрового голографічного представлення мережної структури та множини її функціональних властивостей. Часткова втрата голографічного представлення функціональних мережних метаданих, що є доволі компактним способом їх зберігання, буде впливати лише кількісно на точність їх відтворення, але не на загальну якісну картину. Запропоновано теоретико-прикладні засади створення

сервісної мережної платформи національного масштабу для фіксації метаданих щодо комунікаційної активності в ТКСП.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

(наведено згідно чинного Наказу МОНМС України № 1112 від 17.10.2012, п. 2.1)

1. Demydov I. The Research of the Availability at Cloud Service Systems / I. Demydov, M. Klymash, Z. Kharkhalis, B. Strykhaliuk, P. Komada // Proceedings of SPIE: Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments, USA. – 2017. – Vol. 10445. – doi: 10.1117/12.2280885. (іноземне наукове періодичне видання з напрямку, ISSN 0277-786X (Print), Scopus)
2. Demydov I. The Structural-Functional Synthesis of IoT Service Delivery Systems by Performance and Availability Criteria / Ivan Demydov, Yulia Klymash, Mykola Brych, Mykhailo Klymash // Internet of Things (IoT) and Engineering Applications (Canada). – May, 2017. – Vol. 2. – Issue 1. – P. 1-13. (друковане іноземне наукове періодичне видання з напрямку, ISSN 2371-8609)
3. Demydov I. Features of the cloud services implementation in the national network segment of Ukraine / I. Demydov, M. Klymash, M. Beshley, O. Shpur // Information and telecommunication science. К.: NTUU «KPI», 2016. - No.1. - P. 31-38. (наукове фахове видання, МНБ ICI, ISSN: 2411-2976)
4. Бешлей М. І. Розвиток методів передавання даних реального часу шляхом вдосконалення процесів пріоритезації потоків у маршрутизаторах / М. І. Бешлей, В. В. Червенець, І. В. Демидов, В. І. Романчук, О. М. Панченко // Системи обробки інформації. — 2016. — № 5. — С. 114-123. (наукове фахове видання, МНБ ICI, ISSN 1681-7710)
5. Климаш М.М. Дослідження доступності у хмарних сервісних системах / М.М. Климаш, І.В. Демидов, Мохамед Мехді Ель Хатрі, Ю.Л. Дещинський // Радіоелектроніка та телекомунікації. Вісник Національного університету «Львівська політехніка». – Львів, 2016. – №849. – С. 218-229. (наукове фахове видання, МНБ ICI, ISSN 0421-0399)
6. Демидов І.В. Моделювання процесів диференційованого обслуговування користувачів хмаринкових сервісних мережних систем / І. В. Демидов, Мухамед Мехді Ель Хатрі, Укаблі Юсеф // Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку. – 2016. – №1(41). – с. 26-34. (наукове фахове видання, індексується МНБ, ISSN 2518-7678)
7. Демидов І. В. Аналіз методів підвищення продуктивності телекомунікаційних мереж хмарних сервісних систем / І. В. Демидов, Мухамед Мехді Ель Хатрі, Укаблі Юсеф // Телекомунікаційні та інформаційні технології. – 2016. – №1. – С. 41-47. (наукове фахове видання, індексується МНБ, ISSN 2412-4338)
8. Демидов І. В. Дослідження імовірнісних характеристик трафіку опорно-транспортної підсистеми мережі мобільного зв'язку / І. В. Демидов, М.М. Климаш, П. О. Гуськов, Мухамед Мехді Ель Хатрі // Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку. – 2015. – №6(40). – С. 11-18. (наукове фахове видання, індексується МНБ, ISSN 2518-7678)
9. Demydov I. V. The structural-functional synthesis of cloud service delivery platform after service availability and performance criteria / I. V. Demydov, B.M. Strykhalyuk, O. M. Shpur, Mohamed Mehdi El Hatri, Y. V. Klymash // Системи

обробки інформації. — 2015. — № 1. — С. 144-159. (наукове фахове видання, МНБ ІСІ, ISSN 1681-7710)

10. Демидов І. В. Моделювання процесів обслуговування потоків запитів у розподілених сервісних мережних архітектурах / І. В. Демидов, П. О. Гуськов, Мухамед Мехді Ель Хатрі // Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку. — 2015. — №5(39). — С. 44-51. (наукове фахове видання, індексується МНБ, ISSN 2518-7678)

11. Стрихалюк Б.М. Дослідження статистичних параметрів та характеристик інформаційних потоків в гетерогенних мережах / Б.М.Стрихалюк, І.В. Демидов, В.І. Романчук, М.І. Бешлей // Наукові записки УНДІЗ. — 2014. — №6(34). — С. 82-92. (наукове фахове видання, індексується МНБ, ISSN 2518-7678)

12. Стрихалюк Б.М. Структурно-функціональна оптимізація процесів міграції віртуальних машин в розподілених дата-центрах / Б.М. Стрихалюк, З.В. Хархаліс, І.В. Демидов // Комп'ютерні технології друкарства: збірник наукових праць. - 2014. - №32. - С. 69-81. (наукове фахове видання, індексується МНБ, ISSN 2411-9210)

13. Стрихалюк Б. Моделювання хмаринкової мережної системи у гіперболічних віртуальних координатах / Б. Стрихалюк, М. Климаш, І. Демидов // Комп'ютерні технології друкарства. - 2014. - № 32. - С. 3-19.

14. Красько О. В. Аналіз параметрів оптичного сигналу в повністю оптичній мережі з комутацією за довжинами хвиль / О. В. Красько, І.В. Демидов, М.В. Брич // Вісн. Нац. ун-ту «Львів. політехніка». - 2014. - № 796. - С. 140-146. - Бібліогр.: 23 назв. - укр. (наукове фахове видання, МНБ ІСІ, ISSN 0421-0399)

15. Klymash M. A Novel Approach of Optimum Multi-Criteria Vertical Handoff Algorithm for Heterogeneous Wireless Networks / M. Klymash, B. Stryhaliuk, I. Demydov, M. Beshley, M. Seliuchenko // International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT). — November 2014. — Volume 4, Issue 4(5). — P. 42-52. (електронне іноземне наукове періодичне видання за напрямом, ISSN 2277-3754)

16. Климаш М.М. Забезпечення якості обслуговування та оптимізація бізнес-процесів у розподілених системах на основі сервісно-орієнтованої архітектури / М.М. Климаш, І.В. Демидов, М.О. Селюченко, І.Д. Орлевич // Радіоелектроніка та телекомунікації. Вісник Національного університету «Львівська політехніка». — Львів, 2013. — №766. — С. 150-155. (наукове фахове вид., МНБ ІСІ, ISSN 0421-0399)

17. Demydov I. Analysis of service workflows distribution and service delivery platform parameters / Ivan Demydov, Orest Lavriv, Bohdan Buhyl, Yuriy Dobush, Mykhailo Klymash // Int. J. Services, Economics and Management. -2013. - Vol. 5. - No. 4. - P. 280-290. (друковане іноземне наукове періодичне видання з напрямом, ISSN 1753-0822)

18. Demydov I. Enterprise Distributed Service Platform – Network Architecture and Topology Optimization / I. Demydov, M. Klymash, N. Kryvinska, C. Strauss // Int. J. Space-Based and Situated Computing. -2012. — Vol. 2. - № 1. - pp. 23-30. (друковане іноземне наукове періодичне видання з напрямом, ISSN 2044-4893)

19. Бугиль Б.А. Підвищення ефективності розподілу ресурсів телекомунікаційної мережі шляхом зміни маршрутів передавання даних [Електронний ресурс] / Б.А. Бугиль, М.М. Климаш, О.А. Лаврів, І.В. Демидов // Проблеми телекомунікацій. — 2012. — № 4 (9). — С. 32 - 44. — Режим доступу до журн.: http://pt.journal.kh.ua/2012/4/1/124_bugil_resource.pdf . (електронне наукове фахове видання, індексується МНБ, ISSN 2220-6922)

20. Klymash M.M. Analysis of service workflows distribution and SDP parameters / M.M. Klymash, I.V. Demydov, O.A. Lavriv, Yu.D. Dobush // Системи обробки інформації. – Харків, 2012. – Вип. 6 (104). – С. 103-107. (наукове фахове видання, МНБ ІСІ, ISSN 1681-7710)

21. Добуш Ю.Д. Аналіз загроз передавання даних у системі «електронного урядування» та оцінка її ефективності / Ю.Д. Добуш, І.В.Демидов, М.М. Климаш // Вісник Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій. – К., 2012. - Т.10, №3. – С.29-36. (наукове фахове видання, індексується МНБ, ISSN 2412-4338)

22. Добуш Ю.Д. Дослідження відкритих сервісних інтерфейсів Parlay в концепції «електронного урядування»/ Ю.Д. Добуш, І.В.Демидов, М.М. Климаш // Комп'ютерні технології друкарства: Зб. наук. пр. – Львів: Українська Академія Друкарства, 2012. – №28. – С. 170-186. (наукове фахове видання, індексується МНБ, ISSN 2411-9210)

23. Самер Аввад. Дослідження обслуговування трафіку на транзитній мережі оператора мобільного зв'язку / Самер Аввад, М. М. Климаш, І.В. Демидов, Б.В. Коваль // Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку. – 2011. – №1 (17). – С. 51-55. (наукове фахове видання, індексується МНБ, ISSN 2518-7678)

24. Klymash M. Traffic routing in telecommunication nets and its diakoptics representation / M. Klymash, B. Strykhalyuk, M. Kaidan, I. Demydov // Computation Problems of Electrical Engineering. – Lviv, 2011. - №1(1). – P.15-19. (видання індексується МНБ ІСІ, ISSN 2224-0977)

25. Demydov I. The Synthesis Methodology of Scalable Telecommunication Service Platforms / Ivan Demydov, Zenoviy Kharkhalis // 2nd IEEE International Conference on Advanced Information and Communication Technologies-2017 (AICT-2017): Conference Proceedings. – Lviv, 2017. – P. 199-203. (Scopus)

26. Demydov I. The Method of Improving the Availability at Cloud Service Systems / Ivan Demydov, Olga Shpur, Rakhman Lutfor, Yurii Deshchynskyi // Матеріали Міжнародної конференції з інформаційно-телекомунікаційних технологій та радіоелектроніки (УкрМіКо'2016/UkrMiCo'2016): Збірник тез. – К.: НТУУ «КПІ», 2016. – С. 446 - 448. (Scopus)

27. Демидов І.В. Впровадження хмарних сервісних систем в національному мережному сегменті України / І.В. Демидов, О.М. Шпур // X Міжнародна науково-технічна конференція «Проблеми телекомунікацій» ПТ-2016: Збірник матеріалів конференції (19-22 квітня 2016р. м. Київ) - К.: НТУУ «КПІ», 2016. – С. 342-344.

28. Demydov I. Concept of the Migrating Firewall to Scalable Cloud Networks / Ivan Demydov, Orest Lavriv, Zenoviy Kharkhalis, Mohamed Mehdi El Hatri // Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій, комп'ютерної інженерії TCSET'2016 : матеріали XIII Міжнародної конференції, 23-26 лютого 2016, Львів, Славське, Україна / Міністерство освіти і науки України, Національний університет «Львівська політехніка». - Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2016. – С. 643-645. (Scopus)

29. Demydov I. Dynamic Correction of Routing Metrics by Pervasive Structural Routing in the Scalable Distributed Service Networks / Ivan Demydov, Mohamed Mehdi El Hatri, Olga Shpur // Problems of Infocommunications Science and Technology (PIC

S&T), 2015 Second International Scientific-Practical Conference, 13-15 Oct. 2015, Kharkiv, Ukraine. – P. 164-166. (Scopus)

30. Demydov I.V. The features of cloud service delivery platform structural-functional synthesis / I.V. Demydov, M.M. Klymash, O.M. Shpur, Z.V.Kharkhalis // Міжнародна науково-технічна конференція «Сучасні інформаційно-телекомунікаційні технології»: матеріали науково-технічної конференції (17-20 листопада 2015 р. м.Київ), Т.3 – К: ДУТ. – 2015. – С. 19-21.

31. Demydov I. Mobility Management and Vertical Handover Decision in an Always Best Connected Heterogeneous Network / Ivan Demydov, Marian Seliuchenko, Mykola Beshley, Mykola Brych // Proceedings of XIIIth international conference «The experience of designing and application of CAD Systems in microelectronics» CADSM'2015, 24-27 February, Lviv-Poljana, Ukraine. – 2015. - P. 103-105. (Scopus)

32. Strykhalyuk B. Synthesis of distributed service-oriented structures cloud networks is based on algorithm for determining hyperbolic virtual coordinates / Bogdan Strykhalyuk, Olga Shpur, Ivan Demydov, Yulia Klymash // Proceedings of XIIIth international conference «The experience of designing and application of CAD Systems in microelectronics» CADSM'2015, 24-27 February, Lviv-Poljana, Ukraine. – 2015. – pp. 231-235. (Scopus)

33. Демидов І.В. Доступність композитних застосувань у сервісоорієнтованих системах / І.В. Демидов, О.А. Лаврів, О.М. Шпур, М.О. Селюченко // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах: матеріали XIII Міжнародної науково-технічної конференції (6-12 червня 2014 р. м. Одеса). – 2014. – с.119-121.

34. Demydov I. The Holographic Network Analysis / Ivan Demydov, Bohdan Strykhalyuk, Mykhailo Klymash // The 2014 IEEE International Black Sea Conference on Communications and Networking (IEEE BlackSeaCom 2014), Odessa, Ukraine – Chisinau, Moldova, May 27-30, 2014. – Chisinau:TUM, 2014. - pp. 66-68. - ACM ISBN: 978-1-4799-4067-7/14 (electronic). (Scopus)

35. Демидов І.В. Методи фіксації метаданих з'єднань глобальних мобільних телекомунікаційних мереж / І.В. Демидов, Ю.Д. Добуш // Всеукраїнська Науково-практична конференція «Сучасні проблеми телекомунікацій і підготовка фахівців в галузі телекомунікацій – 2013». Матеріали конференції 30 жовтня - 2 листопада 2013 р. – Львів, 2013. – С.167-170.

36. Добуш Ю.Д. Загрози поширенню даних в інфокомунікаційних системах «електронного урядування» / Ю.Д. Добуш, М.М. Климаш, І.В. Демидов // Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції «Інформаційні проблеми теорії акустических, радіоелектронних і телекомунікаційних систем» (IPST-2012): Тезиси докладов. – АР Крим, Алушта, 2012. – С.165-166.

37. Dobush Yu. Approach to Secure Distributed Data Storing by Quasi-Random FAT Network Mapping / [Yuri Dobush, Ivan Demydov] // Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції «Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій, комп'ютерної інженерії». – Львів –Славське, Україна, 2012. – P. 335. (Scopus)

38. Demydov I. Methods of traffic load balancing in telecommunication networks / Ivan Demydov, Yasser Muayyad Al-Hayali // Науково-методична конференція „Сучасні проблеми телекомунікацій і підготовка фахівців в галузі телекомунікацій – 2012”. Матеріали конференції 1-4 листопада 2012 р. – Львів, 2012. – С.28-30.

39. Samer Awwad. Traffic Design in 4G Broadband Backbone Nets / Samer Awwad, Mykhailo Klymash, Ivan Demydov // Матеріали 11-ї Міжнародної науково-технічної конференції «Досвід розробки та застосування приладо-технологічних САПР в мікроелектроніці». – Львів – Поляна, Україна, 2011. – Р. 145 – 146. (Scopus)

40. Добуш Ю.Д. Застосування широкосмугових бездротових мереж UMTS/3G для організації мереж моніторингу параметрів розподілених об'єктів / [Ю.Д. Добуш, І.В. Демидов] // Матеріали VII Міжнародної науково-технічної конференції «Сучасні інформаційно-комунікаційні технології» (COMINFO'2011-Livadia): Збірник тез. – К.: ДУІКТ, 2011. – С.154 -155.

АНОТАЦІЯ

Демидов І.В. Синтез телекомунікаційних сервісних платформ національного масштабу. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі. – Національний університет «Львівська політехніка» Міністерства освіти і науки України, Львів, 2017.

Дисертаційну роботу присвячено розв'язанню актуальної наукової проблеми розроблення методологічного забезпечення синтезу телекомунікаційних сервісних платформ національного рівня для оптимального впровадження концепції повсюдного комп'ютингу (розподілених обчислень) із заданими рівнями якості сервісу, продуктивності та функціональної стійкості.

Національний сегмент глобальної інформаційної інфраструктури, що формується множиною сервісних мережних систем є чутливим до: змін ринкової кон'юнктури з боку споживачів електронних сервісів, виду, флуктуацій та просторового перерозподілу навантаження, що ними створюється, а також до різного роду деструктивних впливів, які представляють загрозу його функціональній стабільності. В роботі поставлено та розв'язано низку взаємопов'язаних завдань, які спрямовані на оптимальний вибір та структурно-параметричне конфігурування архітектурної реалізації сервісних мережних систем на кожному з найбільш розповсюджених рівнів їх модельних представлень: IaaS, PaaS, SaaS. Результатом розв'язання цих завдань стали математичні, структурно-параметричні та структурно-функціональні моделі: оптимального структурно-параметричного синтезу названих систем за критеріями якості сервісу (із урахуванням рівня сервісної доступності), системної продуктивності та функціональної стійкості; процесів диференційованого обслуговування потоків запитів; адаптивного резервування та перерозподілу ресурсів мережно-залежних рівнів телекомунікаційних сервісних платформ, зокрема на основі застосування методів теорії нечітких множин; опрацювання диференційованих потоків навантаження розпаралеленими віртуалізованими мережними засобами; компактного представлення мережних метаданих засобами цифрового голографічного оброблення.

Сформовано методологію та методи, що дозволяють оптимальне за техніко-економічними показниками впровадження телекомунікаційних сервісних платформ для ефективного та динамічного розвитку процесів надання електронних сервісів підприємствами та відомствами з використанням відкритої системної архітектури.

Ключові слова: масштабована сервісна мережна система, гетерогенна

телекомунікаційна платформа, сервісно-орієнтована архітектура, структурно-параметричний синтез, ресурсна оптимізація, хмарна мережна платформа, національний сегмент, глобальна інформаційна інфраструктура.

АННОТАЦИЯ

Демидов И.В. Синтез телекоммуникационных сервисных платформ национального масштаба. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.12.02 – телекоммуникационные системы и сети. – Национальный университет «Львівська політехніка» Министерства образования и науки Украины, Львов, 2017.

Диссертационная работа посвящена решению актуальной научной проблемы разработки методологического обеспечения синтеза телекоммуникационных сервисных платформ национального уровня для оптимального внедрения концепции повсеместного компьютинга (распределенных вычислений) с заданными уровнями качества сервиса, производительности и функциональной устойчивости.

Национальный сегмент глобальной информационной инфраструктуры, формируемый множеством сервисных сетевых систем является чувствительным к: изменениям рыночной конъюнктуры со стороны потребителей электронных сервисов, вида, флуктуаций и пространственного перераспределения нагрузки, которая ими создается, а также различного рода деструктивных воздействий, которые представляют угрозу его функциональной стабильности. В работе поставлены и решены ряд взаимосвязанных задач, направленных на оптимальный выбор и структурно-параметрическое конфигурирование архитектурной реализации сервисных сетевых систем на каждом из наиболее распространенных уровней их модельных представлений: IaaS, PaaS, SaaS. Результатом решения этих задач стали математические, структурно-параметрические и структурно-функциональные модели: оптимального структурно-параметрического синтеза названных систем по критериям качества сервиса (с учетом уровня сервисной доступности), системной производительности и функциональной устойчивости; процессов дифференцированного обслуживания потоков запросов; адаптивного резервирования и перераспределения ресурсов сетевых уровней телекоммуникационных сервисных платформ, в том числе на основе применения методов теории нечетких множеств; обработки дифференцированных потоков нагрузки распараллеленными виртуализированными сетевыми средствами; компактного представления сетевых метаданных средствами цифровой голографической обработки.

Сформирована методология и методы, позволяющие оптимальное по технико-экономическим показателям внедрение телекоммуникационных сервисных платформ для эффективного и динамичного развития процессов предоставления электронных сервисов предприятиями и ведомствами с использованием открытой системной архитектуры.

Ключевые слова: масштабируемая сервисная сетевая система, гетерогенная телекоммуникационная платформа, сервис-ориентированная архитектура, структурно-параметрический синтез, ресурсная оптимизация, облачная сетевая платформа, национальный сегмент, глобальная информационная инфраструктура.

ABSTRACT

Demydov I.V. Synthesis of telecommunication service platforms on a national scale. – On the rights of the manuscript.

A thesis submitted in fulfilment of the Doctor of Engineering Science degree on specialty 05.12.02 - telecommunication systems and networks. - Lviv Polytechnic National University of Ministry for Education and Science of Ukraine, Lviv, 2017.

The thesis is devoted to solving the actual scientific problem of methodological means development for telecommunication service platforms synthesis at the national level for the optimal implementation of the ubiquitous computing concept (distributed computing) with specified levels of quality of service, performance, and functional stability.

The national segment of the global information infrastructure, formed by a plurality of service network systems is sensitive to: changes in market conditions on the part of consumers of electronic services: the type, fluctuations, and spatial redistribution of loads, which they created, as well as various kinds of destructive influences that threatening its functional stability. There were defined and solved several interrelated tasks intended to produce an optimum choice and structural-parametric architectural configuration of the service implementation of network systems at each of the most common levels of model representations: IaaS, PaaS, SaaS. As the result of these tasks solution have become mathematical, structural and parametric and structural-functional models of: the optimal structural and parametric synthesis of these systems on the service quality criteria (taking into account the level of service availability), system performance and operational stability; differentiated processing of requests' flows; adaptive redundancy and redeployment of network-dependent levels' resources of service platforms, including through the application of fuzzy set theory methods; load flows differentiated processing by parallelized virtualized network resources; compact representation of network resources metadata by digital holographic processing concept.

The efficiency of the telecommunication service platform scaling and its structural transformations were investigated, as well as impact of the self-similarity and other traffic features (that were examined experimentally) to the defined above criteria of the technical efficiency. The prioritized traffic service processing was modified has improved timing indexes of service quality in 2-7 times, depending on the level of multiservice network platform units loading. The ways and features of IaaS model adaptation for scalable networks of civil and special purpose were defined. The conceptual basics of the migrating firewall as intrusion detection system for telecommunication platforms of national scale are given, as well as deep analysis of cloud networking implementation challenges in Ukraine was conducted. Being sophisticated to bypass and robust, it could serve as the multilayer platform of scalable cloud network that demand high level of the defense from different kind of harmful impact and network attacks. A mechanism of defense activation was briefly considered using basic definitions of the semantic and technical presence points.

A quality of service indexes were increased in mobile systems based on efficient network- and radio-resources utilization of heterogeneous service network platform and proposed optimal procedure of intellectual vertical handover based on cloud technology and fuzzy logic technique. In order to solve a task of handover initiation and performing a centralized method of handover management has been contributed. Developed approach in comparison to existing ones uses the theory of fuzzy sets. This theory was chosen as a

tool for solving tasks of aggregation of double-meaning, subjective and fuzzy evaluative judgments about state of partial parameters as criteria of optimal resource (cell) selection. Thus, if the resource management model is built according to such approach, then it becomes quantitative unlike existing subjective evaluations. For investigation purposes of heterogeneous wireless network operation under conditions of high user mobility the computer simulation model has been developed and verified.

The methodology and methods were formed that allow the implementation of the telecommunication service platforms for the optimum technical and economic indicators accomplishment to make process development of e-services distribution and ubiquitous computing means implementation by companies and agencies using open system architecture more efficient and dynamic. During the recent two years 1,3% increase was achieved in service availability level on the IaaS layer implementation of a national scale network. Thus, at the layer of respective PaaS implementations the average annual service availability is not lower, than 0.99999. Performance indices of PaaS implementations were increased up to 35%.

Key words: scalable service network system, heterogeneous telecommunication platform, service-oriented architecture, structural and parametric synthesis, resource optimization, cloud networking platform, national segment, global information infrastructure.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

CDN – Content Delivery Network – мережа доправлення (і розповсюдження) контенту; DaaS – Data as a Service – дані (та їх оброблення), як сервіс; DDoS – Distributed DoS – розподілена версія мережної атаки виду DoS (відмова у обслуговуванні); DMZ – демілітаризована зона; DPI – Deep Packet Inspection – технологія глибокого аналізу вмісту пакетів; ESC – Elementary Service Components – елементарні сервісні компоненти; IaaS – Infrastructure as a Service – інфраструктура, як сервіс; ICI – Index Copernicus International; IoT – Internet of Things – концепція «Інтернету речей»; LTE – Long Term Evolution - довготерміновий розвиток систем мобільного зв'язку (група концепцій та стандартів); MF – Migrating Firewall – мігруючий мережний екран; NFV – Network Functions Virtualization – віртуалізація мережних функцій; NSP – Nominal Statistical Profile – номінальний статистичний профіль; OAL - Overlay Analytical Layer – шар аналізу потоків; OSA – Open Systems Architecture – відкрита системна архітектура; PaaS – Platform as a Service – платформа, як сервіс; PoIP – Point of Informational Presence – точка інформаційної присутності; PoP – Point of Presence – точка (операторської) присутності; RAN – Radio Access Network – радіомережа доступу; SAAD – Statistical Abnormal Activity Detection system – система виявлення аномальної статистичної активності; SaaS - Software as a Service – програмне забезпечення, як сервіс; SDP – Service Delivery Platform – сервісна платформа; SOA – Service-Oriented Architecture – сервісно-орієнтована архітектура; VM – Virtual Machines – віртуальні машини; ГНН – години найбільших навантажень; MeMO – мережа масового обслуговування; МНБ – міжнародні наукометричні бази, ЦОД – центр оброблення даних; ТКСП – телекомунікаційна сервісна платформа; СУБД – система управління базами даних.

