67-72-102/1
16.11.2017р.

ВІДГУК

офіційного опонента
на дисертаційну роботу Демидова Івана Васильовича «Синтез телекомунікаційних сервісних платформ національного масштабу», подану на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук зі спеціальності 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі

Актуальність теми роботи. Розвиток телекомунікаційних систем спричинив злиття окремих рівнів подання згідно Еталонної моделі взаємодії відкритих систем, появу нових тенденцій у сфері інфокомунікацій. Відтак, на сьогодні виникає симбіоз телекомунікаційних платформ, конвергенція інформаційних технологій, а також методів їх поєднання під егідою хмарних концептів. Неможливо чітко виокремити топологічні особливості мережних реалізацій хмарних систем, які надають основні мережні послуги. Важливим і цікавим питанням є дослідження взаємозв'язків між параметрами телекомунікаційних сервісних платформ та якістю послуг, що ними надається, їх доступністю, можливістю масштабуватись й адаптуватись до умов, у яких вони функціонують. Розгляд об'єднаних інтерпретацій моделей SaaS, PaaS та IaaS сервісних реалізацій притаманний багатьом науковим працям останніх років. Проте, проблематика дослідження взаємозв'язків (dependability) між їх параметрами у межах теорії телекомунікаційних систем є маловивченою, особливо у разі їх масштабування.

Використання телекомунікаційних мереж загального призначення без застосування спеціальної методології їх розвитку, адаптації, а також елементів мережної архітектури програмного характеру апріорі не гарантує якість відповідних послуг, оперативність їх надання, готовність відповідних мережних елементів або сегментів, реалізувати адаптивні механізми оптимізації використання ресурсів у гетерогенних платформах. Потенційні можливості національного сегменту глобальної мережної інфраструктури, як універсальної телекомунікаційної сервісної платформи для впровадження розподілених обчислень у галузях народного господарства та оборони країни не вивчено.

Важливим чинником при реалізації телекомунікаційної мережі є її стійкість до зовнішніх втручань, який активно досліджується фахівцями з кібербезпеки, але при цьому не повною мірою враховуються особливості реалізації мережної архітектури сучасних телекомунікаційних сервісних платформ та особливості їх розвитку.

Отже, тема дисертаційної роботи Демидова І.В. є актуальною і своєчасною, особливо з точки зору побудови національної мережної інфраструктури з заданими показниками масштабованості, продуктивності, доступності послуг та компонентів. Актуальність напрямку дослідження підтверджується великою кількістю наукових праць присвячених даній темі.

У формулюванні автора вона співпадає зі змістом багатьох положень Закону України «Про Концепцію Національної програми інформатизації», зокрема розділів 2, 3, де, зазначено, що «Пріоритети повинні бути не постійними, а визначатися на певний період і коригуватися залежно від ситуації. У Програмі пріоритети надаються інформаційній підтримці заходів виходу України з економічної кризи, формуванню ринкових відносин, створенню сучасної інформаційної інфраструктури, інформатизації соціальної сфери, фінансової та грошової системи, діяльності Національного банку України, органів доходів і зборів, стратегічних напрямів розвитку державності, безпеки та оборони, пріоритетних галузей економіки (агропромисловий, паливно-енергетичний, військово-промисловий комплекси, транспорт, зв'язок)», а особливо розділу 4, п.3, що має назву «Інформатизація стратегічних напрямів розвитку державності, безпеки та оборони». Зокрема, визначено, що «…Інформаційна безпека є невід'ємною частиною політичної, економічної, оборонної та інших складових національної безпеки. Об'єктами інформаційної безпеки є інформаційні ресурси, канали інформаційного обміну і телекомунікації, механізми забезпечення функціонування телекомунікаційних систем і мереж та інші елементи інформаційної інфраструктури країни». Варто зазначити, що інформаційна безпека забезпечується не лише контролем інформаційного простору, а і підтримкою продуктивності телекомунікаційної сервісної платформи на належному рівні, оскільки її зменшення не лише призводить до недоступності окремих послуг, але і до порушення функціональної цілісності національного сегменту ГІ в цілому.

Тематика дисертаційної роботи розглядається одночасно у багатьох країнах світу, зокрема США, КНР, Російській Федерації, країнах ЄС, що супроводжується значним науковим інтересом провідних вітчизняних і закордонних фахівців. Ця інформація докладно подається у вступі до дисертаційної роботи.

Автором дисертації було виконано значний обсяг науково-дослідних робіт, як на замовлення організацій, так і за державним замовленням: «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 та багатьох інших.

Результати дисертаційної роботи впроваджено у ТзОВ СП «Мікро-код» Лтд (Україна-Канада), у Львівській філії ПАТ «Укртелеком», що підтверджено актами впровадження. Результати та напрацювання, одержані у процесі

виконання дисертаційної роботи використано у навчальному 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», що також підтверджується відповідним документом.

Наукова новизна результатів, дисертаційної роботи полягає, перш за все, у тому, що автор встановив та обґрунтував закономірності оптимальної структуризації при розподілі і спряженні ІКТ- та обчислювальних ресурсів у масштабованих телекомунікаційних сервісних платформ, які можуть бути застосовані до основних модельних репрезентацій виду XaaS (зокрема рівнів SaaS, PaaS та IaaS, причому одночасно за критеріями затримки опрацювання навантаження і компонентної доступності), а разом із запропонованим методом та моделлю розподілу конвергованих ресурсів мережно-залежних рівнів гетерогенної сервісної платформи на основі положень нечіткої логіки і рядом методів, орієнтованих на підвищення продуктивності системи та доступності послуг (шляхом оптимізації використання ресурсів різного рівня) це утворює формальну основу розробленої методології синтезу телекомунікаційної сервісної платформи.

Крім цього, окремі компоненти, які визначають критерії синтезу телекомунікаційної сервісної платформи визначено аналітично, зокрема показник доступності послуги її поточної реалізації, для чого виконано дослідження статистичних характеристик навантаження, розроблено та апробовано ряд моделей для віртуалізації генерування та оброблення навантаження, зокрема в умовах обмежень ресурсів для окремих категорій користувачів.

Автором запропоновано принципи трансформації телекомунікаційної сервісної платформи національного сегменту ГІ на основі хмарних технологій із урахуванням крос-платформної конвергенції ресурсів з єдиною мережною політикою під егідою DaaS концепції, а також розроблено функціональну модель мігруючого мережного екрану, що може бути реалізована на основі хмарних технологій для ефективного виявлення та фільтрації небажаних інформаційних потоків, виявлених як аномалії відносно зібраних статистичних даних щодо нормального режиму функціонування мережної платформи.

Пропозиція автора щодо опису хвилевих властивостей навантаження мережі методами цифрової голографії є цікавою, оскільки в якості вхідних даних присутні топологічна структура об'єкта і розподіл навантаження, що можуть формувати комплексний голографічний образ, який є фрактально стійким до пошкоджень і може бути записаний відповідними методами на сучасні носії інформації з подальшим відтворенням і частковим або повним обробленням (відновленням).

Практичне значення результатів роботи, що стали наслідком застосу-вання розробленої методології синтезу телекомунікаційної сервісної платформи полягає у тому, що протягом 2014-2016 років покращено ключові технічні показники мультисервісної телекомунікаційної платформи ПАТ «Укртелеком», на рівні IaaS та PaaS – реалізацій одержано позитивний приріст продуктивності та доступності послуг; забезпечено високу доступність послуг ряду спеціалізованих телекомунікаційних сервісних платформ, як накладених мережних систем або PaaS реалізацій на основі мережної інфраструктури ПАТ «Укртелеком».

Крім цього, у межах дисертаційної роботи 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 багатофакторного статистичного аналізу мережної активності; запропоновано метод роздільного обслуговування користувачів, який, шляхом оптимізації часу та встановлення обмежень доступу до телекомунікаційної сервісної платформи не пріоритетними користувачами, дає змогу підвищити її добову продуктивність; узагальнено теоретичні засади створення телекомунікаційної сервісної платформи національного масштабу для фіксації мережних метаданих, зокрема – із застосуванням методів створення їх цифрового голографічного подання; запропоновано для гетерогенних телекомунікаційних сервісних платформ використовувати метод динамічної корекції метрик маршрутів шляхом наскрізного структурного трасування, що дало змогу підвищити доступність вузлів у хмарній системі; удосконалено протокольні засоби сервісної мережної інфраструктури, які дають змогу підвищити якість транспортування потоків даних реального часу шляхом контролю та зменшення наскрізних затримок обслуговування пріоритетних пакетів, за рахунок незначного підвищення затримок пакетів непріоритетного навантаження. Основні практичні результати роботи є комерційно-орієнтованими та підтверджені актами впровадження.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, які наведені у дисертаційній роботі.

Обґрунтованість і достовірність наукових результатів та висновків отриманих у процесі виконання досліджень підтверджена використанням сучасних методів математичного моделювання, детальним та всебічним аналізом отриманих на основі розроблених моделей результатів. В ході проведених наукових досліджень автор використовував сучасні методи математичного моделювання. Розроблені ним моделі виконані на основні положеннях теорії телетрафіка, теорії фракталів та статистичних методів.

Достовірність наукових положень

Достовірність результатів дисертаційної роботи Демидова І.В. підтверджується застосуванням апробованого математичного апарату теорій телекомуніка-

ційних систем, теорії масового обслуговування, оптимізації, нечіткої логіки та відсутністю суперечностей з основними положеннями теорії складних систем, теорії інформації, теорії та практики побудови й експлуатації телекомунікаційних систем і мереж. Отримані теоретичні і практичні результати не мають розбіжностей з відомими публікаціями обраного автором напрямку досліджень, органічно доповнюючи результати з літературних джерел.

Повнота викладу матеріалів досліджень у опублікованих працях.

Основні результати досліджень опубліковано у 40 наукових працях. Наукові результати і положення дисертації доповідались на 20-ти міжнародних і державних науково-технічних конференціях та наукових семінарах (Київ, Львів, Харків, Кишинів, Одеса, Чернівці, Відень, Прага тощо).

Всього опубліковано 23 наукові статті у періодичних виданнях, у відповідності до п. 2.1 чинного Наказу МОНМС України №1112. Крім того, майже всі матеріали конференцій та деякі статті входять до Scopus, решта публікацій індексуються іншими НМБ, такими, як Index Copernicus тощо. Всього опубліковано та апробовано 16 матеріалів тез доповідей (згідно переліку).

Наведений перелік публікацій, їх зміст та обсяг повністю відповідають темі дисертаційної роботи, вони у повному обсязі відображають отримані положення, нові наукові результати та висновки.

Оцінка змісту розділів дисертації, її завершеності.

Матеріал дисертаційної роботи викладено логічно й продумано, з чітким розумінням мети та методів дослідження. Дисертаційна робота має логічну структуру і складається з переліку умовних скорочень, вступу, шести розділів, висновків, списку використаних джерел і чотирьох 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.

У **вступі** до дисертаційної роботи традиційно містяться основні положення дисертаційної роботи, а також відомості щодо її актуальності, апробацій, впроваджень, публікацій тощо.

Перший розділ дисертації присвячено огляду концепцій та методів побудови сучасних телекомунікаційних сервісних платформ, проблематиці ефективності управління ними, методам побудови національного сегменту ГІІ (стор. 65-79), аналізу підходів до моделювання та параметризації мережної інфраструктури сервісної платформи з точки зору якості обслуговування та ресурсної оптимізації.

В **другому розділі** дисертації проведено моделювання імовірнісно-часових характеристик телекомунікаційних сервісних платформ, а саме - дослідження імовірнісних характеристик трафіку магістральної мережі на прикладі опорно-транспортної підсистеми RAN для випадку застосування адаптивного канального резервування (стор. 107-127), а також - процесів диференційованого обслуговування користувачів хмарних сервісних платформ (стор. 128-143),

визначено практичний ефект та рекомендації щодо застосування перерахованих методів обслуговування користувацького навантаження.

В **третьому розділі** виконано дослідження телекомунікаційних сервісних платформ з відкритою архітектурою, зокрема на прикладі розгляду архітектури Parlay API, визначено експериментально їх основні імовірнісно-часові характеристики (стор. 148-177), виконано короткий аналіз недоліків сервісних мережних систем з відкритою архітектурою у плані надання характеристик їх функціональній стійкості, визначено критерії оцінювання ефективності системної реалізації телекомунікаційної сервісної платформи, що функціонує в захищеному режимі, методи забезпечення ефективного функціонування бізнес-процесів на основі сервіс-орієнтованої архітектури (стор. 190-198), наведено результати експериментального визначення статистичних характеристик користувацького навантаження у телекомунікаційній сервісній платформі операторського типу (стор. 199-211), які лягли в основу для визначення критеріїв оптимального структурно-параметричного синтезу телекомунікаційної сервісної платформи та пов'язаних із ними параметрів (стор. 219-226).

Четвертий розділ роботи присвячено розробленню та моделюванню процесів забезпечення функціональної стійкості телекомунікаційних сервісних платформ шляхом пошуку шляхів структурно-функціонального балансування резервів системної продуктивності (стор. 232-241), сервісної доступності; дослідженню та вдосконаленню методів забезпечення функціональної стійкості шляхом виявлення та протидії функціональним втручанням різного роду, а відповідно - розробленню методу та моделі мігруючого мережного екрану (стор. 258-260), а також – дослідженню методів оптимального управління процесами міграції та реплікації ресурсів в гетерогенних телекомунікаційних сервісних платформах (стор. 261-275). Цікавими та цінними є висновки до розділу 4 (стор. 276-280).

П'ятий розділ роботи був орієнтованим на розроблення методів оптимізмції конвергованих ресурсів мережно-залежних рівнів гетерогенних розподілених сервісних систем, розроблення і дослідження структурно-ситуативних методів ресурсної оптимізації, які, зокрема, запобігають процесам гіперагрегації навантаження. Крім цього, виконано оптимізацію протоколів маршрутизації та призначення мережних ресурсів на основі застосування методів нечіткої логіки, зокрема – за критеріями якості послуг. Наведено приклад оптимізмції процесів вертикального хендовера в гетерогенних мережах радіодоступу.

В **шостому розділі** дисертації проведено дослідження особливостей трансформації архітектури телекомунікаційних сервісних платформ для застосування в критично важливих системах національного масштабу, формалізовано методологію їх синтезу, виконано відповідні узагальнення (стор. 344-353). В цьому розділі також удосконалено протокольні засоби мережного рівня, зокрема – WFQ, створено і експериментально апробовано прототип протоколу MPQ, який

забезпечує підвищення якості оброблення навантаження з високим пріоритетом, який є критичним до часових затримок (стор. 313-332). Вперше наведено принципи цифрового голографічного представлення мережних метаданих (стор. 332-339), та інші практично-орієнтовані результати роботи. Більшість із них – підтверджено документально.

Додатки до дисертації містять обрані (найбільш суттєві) початкові коди розробленого програмного забезпечення, акти впровадження результатів дисертаційної роботи, а також список наукових праць автора.

Дисертаційна робота є завершеною науково-дослідною працею, яку виконано та оформлено у відповідності з вимогами до кваліфікаційних наукових праць. Дисертаційна робота та автореферат викладені логічно й послідовно, термінологія використовується коректно й за змістом відповідає паспорту заявленої спеціальності 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі.

Дисертаційна робота Демидова І.В. не містить положень, які виносились на захист його кандидатської дисертації.

Зміст автореферату відповідає основним положенням дисертаційної роботи. Автореферат оформлено із дотриманням необхідних вимог.

Зауваження до роботи.

Загалом оцінка дисертаційної роботи здобувача Демидова І.В. є позитивною, проте слід зазначити деякі вади та зауваження:

1. Автор дійсно обґрунтував актуальність дисертаційної роботи у галузі технічних наук, але, разом із цим, методологія багатокритеріального оцінювання об'єкту, який перебуває у стані динамічного розвитку, запропонований за участю автора, а також метод моделювання на основі нечіткої логіки (розділ 5.3, стор. 286-309), щодо якого він дійсно має пріоритет, з використанням TFN представлення, на сьогодні успішно застосовується кількома економічними школами для виконання, наприклад, аналізу ризиків. В роботі є відповідне цитування. Це пояснюється математичною зручністю та прозорістю застосування запропонованого підходу. Отже, насправді, ця робота є міждисциплінарною.

2. Автор не наголошує на тому, що окрім того, що функціональна стійкість, є похідною від «продуктивності системи» та «доступності послуг», визначив у розділі 3.2.3 дисертації загальний критерій оцінювання ефективності K_E захищеної мультисервісної інфокомунікаційної системи (стор. 189), складовими елементами якого є показники якості, технологічні показники, показники, що характеризують стійкість захисту інформації, показники, що характеризують сукупну складність реалізації програмного забезпечення, а також економічні показники. Варто було б на цьому наполягти.

3. У розділі 6.1 (стор. 315) розглядається модифікований метод обслуговування черг на основі розподілу послуг у моделі IaaS. Виникає запитання, а чи можливо його застосувати для SaaS, PaaS реалізацій?

4. У продовження зауваження з п. 3. Для відомого алгоритму WFQ існує аналітична модель Пареха (Parekh, A. K.), яка є загальноприйнятою та апробованою. Натомість, автором запропоновано практичну реалізацію модифікації згаданого алгоритму – робоча назва MPQ. При цьому експериментально доведено її ефективність, що сумнівів не викликає. Програмні моделі є ідентифікованими, верифікованими і реалізованими коректно. Практичний ефект щодо оперативності доставки пріоритетного навантаження є. Логічно, на мій погляд, було б навести і модифікацію моделі Пареха, а цього у роботі немає. Надано лише аналітичну оцінку ефекту.

5. У розділі 4.5 згідно назви виконано «Дослідження методів оптимального управління процесами міграції ресурсів в гетерогенних сервісних системах». При цьому третина розділу присвячена питанню реплікації, а не лише міграції ресурсів віртуалізованих компонентів телекомунікаційної сервісної платформи.

6. В тексті роботи практично немає логічних помилок, проте присутні стилістичні недоречності. Наприклад, автором не обґрунтовано введено абревіатуру ТКСП, яка є загально визначеною й зазвичай означає телекомунікаційна система передачі.

7. Для деяких графіків роботи та автореферату, зокрема рис. 8 автореферату, варто було обрати більш наглядні шкали та масштаби.

8. Автор пропонує у якості оптимального співвідношення при ресурсній структуризації паралельних та послідовних компонентів XaaS реалізацій прийняти «правило золотого перетину», тобто 60%/40% (стор. 240). Доцільно було б порівняти з результатами застосування розподілу Парето 80%/20%.

9. Незрозуміло, на яких конкретно платформах можливо реалізувати запропонований метод мігруючого мережного екрану (розділ 4.4).

10. Автор не навів переваг збереження мережної інформації у голографічній формі, адже за останні кілька років такі сховища даних та відповідні засоби збереження інформації вже успішно розроблені та існують на практиці. Ідею представника гарвардської школи Д. Бома (D. Bohm) щодо універсальності голографічної інтерпретації хвилевих об'єктів можна було опрацювати більш докладно і практикно, а не лише в теорії.

Проте наведені недоліки не зменшують вагомості виконаного дисертаційного дослідження.

Загальний висновок.

Дисертаційна робота Демидова Івана Васильовича «Синтез телекомунікаційних сервісних платформ національного масштабу» є завершеною науковою працею, в якій вирішено актуальну наукову проблему в галузі телекомунікаційних систем та мереж, а саме розроблення методологічного забезпечення синтезу телекомунікаційних сервісних платформ національного рівня для оптимального впровадження концепції розподілених обчислень із заданими рівнями якості послуг, продуктивності та функціональної стійкості. За актуальністю обраної

теми, оригінальністю, обсягом та рівнем виконаних досліджень, повнотою вирішення наукових і практичних завдань, новизною, цінністю та ступенем обґрунтування отриманих результатів, висновків і практичних рекомендацій, дисертаційна робота відповідає вимогам, до докторських дисертацій, а за своїм змістом – паспорту спеціальності 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі. Автореферат достатньо ідентично розкриває зміст дисертаційної роботи. Результати роботи достатнім чином опубліковано та апробовано.

Отже, дисертаційна робота відповідає вимогам пунктів 9, 10, 12 положення про «Порядок присудження наукових ступенів» Кабінету Міністрів України. А її автор – Демидов Іван Васильович – заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук зі спеціальності 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі.

Офіційний опонент,

доктор технічних наук, професор,
професор кафедри
телекомунікаційних систем
Одеської національної академії
зв'язку ім. О. С. Попова І.П. Лісовий

Підпис засвідчую: Вчений секретар ОНАЗ ім. О.С. Попова Руда Г.В.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ ЗВ'ЯЗКУ ім. О.С.ПОПОВА Код в ЄДРПОУ 01180116