

Голові спеціалізованої вченої ради
Д 26.062.19

Інституту телекомунікацій і глобального
інформаційного простору НАН України
простору НАН України України
Довгому С.О.

03186, м. Київ, бульвар Чоколівський, 13

ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

доктора технічних наук, професора,
Гаврилко Євгена Володимировича,
професора кафедри автоматизації проектування енергетичних процесів і систем
Національного технічного університету України «Київський політехнічний
інститут імені Ігоря Сікорського»

на дисертацію Єліссаві Камала Кхаліфа А
на тему «Методи підвищення сталості мережевої синхронізації в сучасній
мультисервісній макромережі»,
яка представлена на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за
спеціальністю 05.13.06 — «Інформаційні технології»

Актуальність теми. Значну роль в формуванні структури світового співтовариства відіграє інформація. Визначається прагнення людства до побудови глобальної інформаційної інфраструктури. Одним із ключових проєктів загальнонаціонального значення, у зв'язку з розвитком інформаційного суспільства України, є створення мультисервісної телекомунікаційної інфраструктури, що ґрунтується на застосуванні ефективних засобів забезпечення якості обслуговування (Quality of Service, QoS) одночасно за множиною різномірних показників (продуктивність, середня затримка, джиттер, імовірність втрат пакетів та ін.). Як показує практика в архітектурі сучасних телекомунікаційних мереж (ТКМ) постійно підвищується роль безпроводових технологій, а одним з ефективних шляхів підвищення основних показників якості обслуговування в безпроводових ТКМ є не лише збільшення обсягу доступного мережного ресурсу, але й забезпечення його ефективного розподілу (управління) шляхом удосконалення відповідних мережних протоколів і механізмів, а також покладених в їх основу математичних моделей і методів. У цьому процесі велике значення приділяється дослідженню та побудові телекомунікаційних мереж (ТКМ) нового покоління та інформаційних інфраструктур різного рівня. Розвиток

інформаційних технологій призвів до можливості збору і зберігання значних обсягів даних, тому актуальною є задача глибокого аналізу всієї наявної інформації для прийняття оптимальних управлінських рішень.

Вже не рідкість, коли в одного оператора кількість вузлів, які потребують забезпечення сигналом синхронізації, досягає більш ніж 1000, а топологічна структура мережі при цьому, набуває вигляду решітчастої. Причиною такого ускладнення топологічної структури є розширення функціональності обладнання. Тому, для ефективного функціонування мультисервісних макромереж стає необхідним адекватне ускладнення топологічної структури мережевої синхронізації.

Необхідність забезпечення сигналами точного часу вкрай важлива, а саме - для забезпечення технологічності функціонування рівня послуг інформаційних технологій. Крім того, для узгодженої роботи білінгової системи з рівнем управління викликами також необхідно зв'язування шкал часу для коректного формування файлів CDR білінгу на вузлах мережі.

Тому дисертаційна робота, яка присвячена вирішенню **науково-прикладної задачі** підвищення сталості функціонування мережевої синхронізації шляхом розробки та удосконалення механізму динамічної адаптації дерева синхронізації, що дозволяє забезпечити працездатність мережевої синхронізації при збільшенні зв'язності мережі і значному збільшенні кількості аварійних ситуацій в мультисервісній макромережі, є актуальною.

Відповідність теми і змісту дисертації паспорту спеціальності, за якою вона подана на захист. Тема дисертації та її зміст відповідають напрямку досліджень п. 1,14 паспорту спеціальності 05.13.06 — «Інформаційні технології».

Зв'язок дисертаційної роботи з пріоритетними напрямками розвитку науки і техніки, державними чи галузевими науковими програмами.

Теоретичні і практичні положення дисертаційної роботи були виконані у відповідності до положень «Концепції Національної програми інформатизації», «Концепції національної інформаційної політики», «Концепції конвергенції телефонних мереж і мереж з пакетною комутацією в Україні», «Стратегії розвитку інформаційного суспільства в Україні».

Результати досліджень було впроваджено у Державному підприємстві «Науковий центр точного машинобудування» Державного космічного агентства України (акт впровадження № 013 від 4.04.2018 р.), ТОВ "Світ-ІТ", (акт впровадження № 1211-19 від 11.12.2019 р.), у навчальному процесі в Київському національному університеті будівництва і архітектури (Довідка про впровадження від 25.09.2020 р. № 17).

Оцінка змісту дисертації, її завершеність в цілому. Дисертація складається зі вступу та чотирьох розділів. Загальний обсяг роботи становить 220 сторінок друкарського тексту, із них 8 сторінок анотації, 212 сторінок основного тексту у тому числі містить 67 рисунків та 4 таблиці, список

використаних джерел із 101 найменування на 10 сторінках та 12 сторінок додатків.

У вступі здобувачем розкрито зміст і поточний стан обраної науково-прикладної задачі, показано її науково-практичне значення та обґрунтовано необхідність проведення дисертаційних досліджень. Також у вступі наведена загальна характеристика роботи.

В першому розділі дисертаційної роботи проаналізовано наукові публікації за темою дисертації з метою вибору напрямів дослідження. На основі аналізу літературних джерел здобувачем визначені невирішені питання, які стосуються розв'язку актуальних задач підвищення якості функціонування телекомунікаційних систем. розглянуто загальні властивості, основні принципи побудови й функціонування мережевої синхронізації в мережах синхронної цифрової ієрархії та в мережах пакетних технологій IP/MPLS.

Проведено аналіз існуючих типів мережних елементів мережевої синхронізації в мережах синхронної цифрової ієрархії та в мережах пакетної технології IP/MPLS. Для формування сигналів синхронізації в мережі тактової синхронізації використовують первинні джерела та пристрої сигналів синхронізації.

У якості джерел сигналів синхронізації використовують цезієві або водневі генератори, а також обладнання на базі приймачів навігаційних систем ГЛОНАСС та GPS (Global Positioning System). Комплекс, утворений складанням декількох первинних джерел, являє собою первинний пристрій синхронізації.

В другому розділі досліджено оцінку впливу сигналів синхронізації на навантаження мережі на ієрархічних рівнях доступу, розподілення та ядра мультисервісної макромережі. Розглянуто основні принципи реалізації мережі синхронізації в пакетних мережах IP/MPLS та методи синхронізації. Розглянуто трирівневу ієрархічну структуру мережі передачі даних. Запропоновано рекомендації щодо планування мережі синхронізації в пакетних мережах IP / MPLS. Проведено вимірювання параметрів стабільності сигналів синхронізації в пакетних мережах. Синхронізація транспортних IP/MPLS-мереж в мобільному зв'язку є необхідною умовою при забезпеченні покриття й якості послуг, що надаються.

Протоколи звірення часу NTP (Network Time Protocol) і PTP (Precision Time Protocol), а також технологія Sync-E (Synchronous Ethernet), де кожен з варіантів синхронізації пакетної мережі має як переваги, так і недоліки. Тому в даній дисертаційній роботі розглядається комбіноване використання даних варіантів синхронізації мережі з комбінацією методів на різних ієрархічних рівнях: ядра, агрегації і доступу.

Третій розділ присвячений розробці методів підвищення сталості функціонування мережевої синхронізації в мультисервісній макромережі, які полягають в: - визначенні сукупності параметрів, що впливають на сталість функціонування мережевої синхронізації; - розробці рекомендацій щодо оптимальної побудови мережевої синхронізації на основі комбінацій

топологічних структур, які складаються з досліджуваних фрагментів; - дослідженні залежності сталості функціонування фрагмента мережевої синхронізації від інтенсивності відмов, інтенсивності відновлень й обраної топології; - в виборі оптимальної топології, яка забезпечує максимальну сталість мережевої синхронізації при заданих інтенсивностях потоків відмов і відновлень; - в дослідженні можливості використання типових фрагментів мережі синхронізації для побудови дерева синхронізації, що динамічно адаптується.

У четвертому розділі присвячений оцінці ефективності запропонованих методів підвищення сталості функціонування мережевої синхронізації в мультисервісній макромережі.

Шляхом математичного моделювання була проведена оцінка введення методу динамічної адаптації дерева синхронізації при плануванні мережевої синхронізації в мультисервісній макромережі. Визначено метод функціонування мережевого елемента синхронізації, що дозволяє створювати адаптивне дерево синхронізації шляхом перерозподілу пріоритетів вхідним інтерфейсам мережевих елементів, топологія яких включає вузли, ранг яких більше двох.

Для вирішення завдання щодо створення середовища автоматизованого планування мережевої синхронізації розроблено модель мережевого елемента з алгоритмом динамічної зміни дерева синхронізації. Основною метою створення даного середовища планування є автоматизація процесу проектування складних мереж синхронізації з врахуванням різних типів обладнання, яке використовується на мультисервісній макромережі.

У висновках викладено найважливіші наукові та практичні результати дисертаційного дослідження.

Список використаних джерел складається з 102 найменувань наукової літератури по темі дисертації.

Додатки містять акти впровадження результатів дисертаційної роботи, які підтверджують практичне використання отриманих автором результатів на підприємствах, на яких впроваджувалися результати досліджень.

Стиль викладення матеріалу дисертації забезпечує доступність його сприйняття і відповідає існуючим вимогам до наукових праць.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в тому, що в дисертації:

- вперше розроблено метод визначення сталості функціонування мережевої синхронізації з врахуванням інтенсивностей потоків відмов і відновлень, топології мережі й алгоритмів функціонування мережевих елементів, який на відміну від існуючих дозволить підвищити сталість мережевої синхронізації, завдяки зменшенню ймовірності втрат пакетів в мультисервісній макромережі;
- удосконалено метод аналізу працездатності фрагмента мережі синхронізації довільної топології і протоколів взаємодії між мережевими елементами для формування дерева синхронізації, що дозволяє запобігати появі

часових петель в замкнутих топологічних структурах шляхом зміни пріоритетів і введення механізму програмованої затримки в алгоритм формування повідомлень про статус синхронізації;

- удосконалено метод динамічної адаптації дерева синхронізації в мережах синхронної цифрової ієрархії, реалізація якого, на відміну від існуючих, можлива на основі механізму динамічного переконфігурування пріоритетів, що привласнюються вхідним інтерфейсам мережевих елементів синхронізації. Цей механізм передбачає набір правил, за якими здійснюється переконфігурування дерева синхронізації при виникненні аварійних ситуацій або ситуацій, що призводять до зміни значень якості сигналу синхронізації.

- удосконалено метод переконфігурування мережевої синхронізації в мережах IP/MPLS, який на відміну від відомих заключається у врахуванні сталості та живучості мережі синхронізації, він відхиляє канали без достатніх ресурсів, які не відповідають обмеженням або сформованій політиці.

Практична цінність наукових результатів дисертаційної роботи.

Отримані у дисертаційній роботі наукові результати є методологічною базою для розробки і впровадження ефективних інструментальних засобів у вигляді програмних або програмно-апаратних модулів оцінювання параметрів якості функціонування телекомунікаційних систем і мереж зв'язку, зокрема мережевої синхронізації, які мають підвищену оперативність, адаптованість до умов застосування, дозволяють реалізувати їх із застосуванням технологій надвисокого ступеня інтеграції.

Новизна наукових положень, висновків та рекомендацій, сформульованих у дисертації, підтверджується відсутністю у відкритій пресі аналогічних підходів.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків та рекомендацій, сформульованих у дисертації. Наукові положення, що одержані здобувачем та виносяться на захист, у достатній мірі обґрунтовані. Це підтверджується коректним використанням основних положень теорія масового обслуговування та теорія графів, методів імітаційного моделювання та математичної статистики.

Достовірність основних наукових результатів, висновків і рекомендацій підтверджується співпадінням теоретичних результатів, результатів чисельних експериментів з відомими експериментальними даними інших досліджень.

Можливі шляхи використання результатів дисертаційних досліджень. Отримані в роботі нові теоретичні положення доцільно використовувати в наукових дослідженнях, практичних розробках і навчальному процесі науково-дослідних організацій та вищих учбових закладах, пов'язаних із питаннями телекомунікацій.

Оцінка висновків здобувача щодо значущості його праці для науки й практики. Сукупність наукових положень, сформульованих і обґрунтованих у дисертаційній роботі, складає вирішення **науково-прикладної задачі** розробки методів підвищення сталості функціонування мережевої синхронізації в

мультисервісній макромережі.

Повнота викладу результатів дисертації в опублікованих працях. Всі положення, що виносяться на захист, достатньо опубліковані у спеціалізованих фахових виданнях України та у виданнях, які включені до міжнародних наукометричних баз і пройшли апробацію під час конференцій та семінарів. Основні результати дисертаційної роботи опубліковані в одинадцяти наукових статтях. З них вісім наукових статей опубліковано в наукових фахових виданнях України, одна стаття у зарубіжному фаховому виданні, одна опублікована у виданні, що індексується в наукометричній базі Scopus, одна у виданні держави, яка входить до Організації економічного співробітництва та розвитку. Матеріали дисертаційних досліджень опубліковано у восьми збірниках вітчизняних та міжнародних науково-технічних конференцій. Кількість та якість публікацій результатів роботи відповідає вимогам ВАК України до кандидатських дисертацій.

Оцінка відповідності дисертації встановленим вимогам ВАК України. Дисертація є завершеною кваліфікаційною роботою, містить отримані автором нові науково обґрунтовані результати, які у сукупності дозволяють забезпечити створення механізмів забезпечення необхідного рівня якості обслуговування в мультисервісних мережах з підтримкою віртуалізації мережевих функцій за рахунок удосконалення моделей і методів аналізу, формування та надання сервісів.

Зауваження щодо дисертації:

1. В дисертації не наведено порівняння фрагменту з трикутною структурою, що використаний в мережах синхронізації та має вищу відмовостійкість, але відомо, що в окремих випадках використання трикутного фрагмента недоцільне у зв'язку з тим, що виграш за відмовостійкістю незначніший, ніж програш за вартістю.

2. Потребує уточнення, як архітектура мережі синхронізації залежить від обраного способу синхронізації.

3. В тексті дисертації доцільно було би описати апаратно-програмні вимірювальні комплекси, які є основою системи моніторингу сигналів синхронізації.

4. Наведені в дисертації рисунки розроблених моделей та методів не чітко відповідають наведеному математичному апарату.

5. В дисертації описується протокол NTP для використання високоточного підстроювання від супутникових радіонавігаційних систем. Чи мали Ви на увазі сучасний протокол NTP v 4 ?

6. В дисертації опис методів наведено шляхом перерахування кроків (етапів). Для кращого сприйняття бажано було би навести блок-схему алгоритму.

Зазначені недоліки не є суттєвими, в цілому не зменшують високого наукового рівня дисертації та отриманих в ній практичних результатів, а тому їх наявність не впливає на загальний позитивний висновок по дисертації.

ВИСНОВОК:

Дисертаційна робота **Єліссаві Камала Кхаліфа А** за своїм змістом і отриманими результатами відповідає паспорту спеціальності 05.13.06 — «Інформаційні технології». Дисертація є завершеною науковою роботою на актуальну тему, містить науково обґрунтовані теоретичні результати і положення, і свідчить про особистий внесок здобувача в науку. В дисертаційній роботі отримані нові науково обґрунтовані розробки в галузі телекомунікацій, що забезпечують розв'язання важливої наукової задачі, що полягає у вдосконаленні існуючих та розробці нових моделей і методів підвищення сталості функціонування мережевої синхронізації шляхом розробки та удосконалення механізму динамічної адаптації дерева синхронізації, що дозволяє забезпечити працездатність мережевої синхронізації при збільшенні зв'язності мережі і значному збільшенні кількості аварійних ситуацій в мультисервісній макромережі, а отже дисертаційна робота «Методи підвищення сталості мережевої синхронізації в сучасній мультисервісній макромережі», за своїм змістом є закінченим науковим дослідженням, у якому отримані нові наукові результати, які можуть бути використані як науково-методична база для подальших досліджень функціонування і надання сервісів у різних типах розподілених мереж під час розробки, підтримки, проектування і впровадження різних конвергентних мультисервісних мереж, заснованих на хмарному підході.

Дисертаційна робота виконана на високому науковому рівні, відповідає вимогам п. 9, 11 «Порядку присудження наукових ступенів» затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 року №567, а її автор заслуговує на присудження йому наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.06 – інформаційні технології.

Офіційний опонент

Професор кафедри Автоматизації проектування енергетичних процесів і систем Теплоенергетичного факультету

Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

доктор технічних наук, професор

“24” 11 2021 р.

Євген ГАВРИЛКО

Підпис Гаврилка Є.В. засвідчую
Вчений секретар Національного технічного університету України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

кандидат технічних наук, доцент



Валерія ХОЛЯВКО