

Голові спеціалізованої вченої ради  
Д 26.062.19

Інституту телекомунікацій і глобального  
інформаційного простору НАН України  
професору НАН України

ДОВГОМУ Станіславу

-----  
03186, м. Київ, бульвар Чоколівський, 13

## ВІДГУК

### ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

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.** Удосконалення методів забезпечення та підтримки гарантованого рівня якості обслуговування користувачів на сьогоднішній день виступає одним із основних напрямків розвитку телекомунікацій.

Активний еволюційний розвиток технологій веде до створення мультисервісних макромереж, метою яких буде вирішення принципово нових задач. 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'єрення шкал часу для коректного формування файлів CDR білінгу на вузлах мережі.

Одним з головних завдань є побудова мережевої синхронізації, надійність якої має не поступатися надійності мережі передачі даних. Оскільки в мережах передачі даних існують механізми захисту трафіку від можливих аварій, то мережа синхронізації має бути спроектована з врахуванням можливих змін в маршрутах передачі даних. Виконання такої вимоги в мережах синхронізації пов'язане з необхідністю побудови оптимального «логічного» дерева синхронізації. Від якості планування дерева синхронізації залежить якість функціонування мережевої синхронізації в мультисервісній макромережі.



Таким чином, робота, яка присвячена вирішенню **науково-прикладної задачі** підвищення сталості функціонування мережевої синхронізації, що дозволяє забезпечити працездатність мережевої синхронізації при збільшенні зв'язності мережі і значному збільшенні кількості аварійних ситуацій в мультисервісній макромережі, є актуальною.

Розробка нових і вдосконалення існуючих моделей і методів формалізації та аналізу ефективності функціонування мережевої синхронізації в процесі надання послуг дозволить усунути ряд можливих помилок і, як наслідок, поліпшити рівень якості обслуговування.

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

Робота виконана у відповідності до положень «Концепції Національної програми інформатизації», «Концепції національної інформаційної політики», «Концепції конвергенції телефонних мереж і мереж з пакетною комутацією в Україні», «Стратегії розвитку інформаційного суспільства в Україні».

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

**Оцінка обґрунтованості наукових положень, висновків та рекомендацій, сформульованих у дисертації та достовірності наукових результатів.** 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.

#### **Наукові результати дисертації.**

1. Уперше розроблено метод визначення сталості функціонування мережевої синхронізації з врахуванням інтенсивностей потоків відмов і відновлень, топології мережі та алгоритмів функціонування мережевих елементів, який на відміну від існуючих дозволить підвищити сталість мережевої синхронізації, завдяки зменшенню ймовірності втрат пакетів в мультисервісній макромережі.

2. 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.



3. 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.

4. 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.

**Рекомендації щодо 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** підвищення сталості функціонування мережевої синхронізації, що дозволяє забезпечити працездатність мережевої синхронізації при збільшенні зв'язності мережі і значному збільшенні кількості аварійних ситуацій в мультисервісній мережі,

**Оцінка повнота викладення основних результатів дисертації.** 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 ДАК України до кандидатських дисертацій.



**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.

Перший розділ дисертаційної роботи присвячено огляду літератури за темою дисертації та вибору напрямів дослідження, проведено аналіз існуючих типів мережних елементів 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.

На основі аналізу літературних джерел здобувачем визначені невирішені питання, які стосуються розв'язку актуальних задач підвищення якості функціонування телекомунікаційних систем. При плануванні мережевої синхронізації необхідно враховувати: відмінність функціональних параметрів мережних елементів синхронізації різних виробників або елементу мережі синхронізації одного виробника, але різних поколінь; виконання або не виконання елементами мережі алгоритмів прийому, обробки та видавання повідомлень про статус синхронізації; реакції елементів мережі на зникнення сигналу синхронізації, його відновлення, а також перехідні процеси, що виникають у мережі. Формування необхідної кількості сигналів синхронізації виконується приладами розгалуження сигналів синхронізації.

За результатами проведеного аналізу і виходячи з мети дисертаційної роботи уточнено та сформульовано наукову задачу дослідження, яка полягає у необхідності розробки методів підвищення сталості мережевої синхронізації в сучасній мультисервісній макромережі за рахунок створення алгоритму динамічної адаптації дерева синхронізації для різних станів макромережі.

У другому розділі з метою підтримки гарантованої якості надання мережевих сервісів та раціонального розподілу ресурсів 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.

При цьому стабільність розповсюдженого сигналу залежить від рівня завантаження мережі, а також від відстані між вузлами мережі і кількості переприйомів, що слід враховувати на етапі планування такої мережі.



Третій розділ присвячений розробці методів підвищення сталості функціонування мережевої синхронізації в мультисервісній макромережі. У цьому розділі розроблено узагальнений метод аналізу працездатності фрагменту мережі синхронізації довільної топології та удосконалено метод динамічної адаптації дерева синхронізації. Для вирішення поставленого завдання розглянуто типові топологічні фрагменти мереж, на яких може функціонувати мережева синхронізація. Проаналізовано ці топологічні структури із застосуванням математичного апарату теорії Марковських випадкових процесів з дискретними станами і безперервним часом.

Основними типами топологічних структур, що використовуються в мережах синхронізації, є деревовидна та кільцева, які і були взяті за типові для дослідження. Як перспективна топологія, що була використана, пропонується фрагмент з трикутною топологічною структурою.

Основними завданнями, які були вирішені в даному розділі є:

- визначення сукупності параметрів, що впливають на сталість функціонування мережевої синхронізації;
- розробка рекомендацій щодо оптимальної побудови мережевої синхронізації на основі комбінацій топологічних структур, які складаються з досліджуваних фрагментів;
- дослідження залежності сталості функціонування фрагмента мережевої синхронізації від інтенсивності відмов, інтенсивності відновлень й обраної топології;
- вибір оптимальної топології, яка забезпечує максимальну сталість мережевої синхронізації при заданих інтенсивностях потоків відмов і відновлень.
- дослідження можливості використання типових фрагментів мережі синхронізації для побудови дерева синхронізації, що динамічно адаптується.

В якості критерію застосування типу топології прийнято працездатність даного фрагмента. Сформульовано визначення працездатності фрагмента.

Фрагмент мережі синхронізації, який складається з мережних вузлів та ліній зв'язку вважається працездатним, якщо він здатний функціонувати із заздалегідь заданою якістю сигналу синхронізації протягом певного проміжку часу.

Тому зміна якості сигналу синхронізації у бік погіршення навіть через великий проміжок часу, після відмови розглядатиметься як втрата працездатності.

У четвертому розділі проведено оцінку 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 із 102 найменувань наукової літератури за темою 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.

#### **Зауваження щодо дисертації:**

1. Здобувачем було висунуто припущення (підрозділ 2.2, с. 82), що однібічні затримки передач часу оборотні в обох напрямках. Справедливість цього припущення не була обґрунтована в тексті роботи.

2. Перед побудовою функції залежності ймовірності перебування фрагмента мережі в одному з можливих станів від часу (підрозділ 3.1, с. 102) було розглянуто частинний випадок, у якому інтенсивності не залежали від часу. Здобувачем не роз'яснено, яким чином здійснюється перехід від частинного випадку до загального, більш актуального для практичних задач.

3. Описані здобувачем події А, В і С (підрозділ 3.1, с. 110) і в теорії графів, і в теорії Марківських процесів можуть бути описані як взаємозалежні. Опис кожної події методом перебору менших станів знижує швидкість розрахунку настання події, що робить увесь алгоритм менш раціональним.

4. Здобувачем описано модифікацію алгоритму Дейкстри, яка передбачає вилучення ребра з найбільшою вагою (підрозділ 3.4, с. 148). У тематичній літературі вже описані модифікації цього алгоритму, в яких ребра вилучаються групами, що підвищує швидкодію алгоритму. Таким чином, для наведеного метода було б доцільніше використати вже розроблену модифікацію

5. Зі змісту дисертації не зрозуміло, чи є поняття атомарних сервісів  $P_i$  синонімом поняття одиничних сервісів.

6. У тексті дисертації не досить чітко визначені обмеження на використання запропонованого автором методу динамічної адаптації дерева синхронізації в мережах синхронної цифрової ієрархії.

7. Висока деталізація наведених схем розроблених моделей та систем ускладнюють сприйняття отриманих результатів.



8. З тексту дисертації не зрозуміло, який спосіб використовується для встановлення пріоритетів вхідним інтерфейсам (портам) синхронізації.

9. Автором не здійснено детальний аналіз ефективності від впровадження його технології. Хоча результати впровадження можуть бути доволі істотні саме з погляду економічної складової.

10. Висновки до розділів та загальні висновки дисертації описують отримані автором результати досліджень. Потрібно надавати узагальнені висновки щодо отриманих автором результатів. Наприклад, «отримана залежність... враховує...та забезпечує...».

11. Не зрозуміло призначення додатку «Принцип синхронізації в СІЦ та ETHERNET технологіях» в тексті дисертації. Тобто це авторська розробка чи інформаційне пояснення до тексту дисертації?

Разом з тим, 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.

**Оцінка відповідності дисертації встановленим вимогам ВАК України.** Незважаючи на зазначені недоліки, розглянуту дисертаційну роботу слід вважати закінченою науковою працею, яка містить важливі наукові і практичні результати. Тема дисертації та її зміст відповідають напрямку досліджень п. 1 паспорту спеціальності 05.13.06 — «Інформаційні технології». Зміст автореферату відповідає змісту дисертації та повною мірою відображає її основні положення. Дисертація та автореферат написані кваліфіковано, оформлені згідно з нормативними документами щодо оформлення дисертацій (Наказ МОН України від 12.01.2017 №40). 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.

**Загальний висновок по роботі.** Дисертаційна робота 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. У дисертаційній роботі отримані нові науково обґрунтовані розробки в галузі інформаційних технологій що використовуються в телекомунікація, які забезпечують розв'язання важливої науково-прикладної задачі, а отже дисертаційна робота 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.



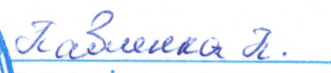
Дисертація «Методи підвищення сталості мережевої синхронізації в сучасній мультисервісній макромережі», відповідає вимогам пп. 9, 11, 12, 13 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою КМУ від 24.07.2013 р. № 567 (зі змінами, внесеними згідно з Постановами КМУ від 19.08.2015 р. № 656, від 30.12.2015 р. № 1159 та від 27.07.2016 р. № 567, від 20.11.2019 р. № 943, від 15.07.2020 р. №607), а здобувач Єліссаві Камаль Кхаліфа А. заслуговує присудження йому наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.06 – «Інформаційні технології».

Офіційний опонент  
доктор технічних наук, професор,  
професор кафедри організації  
авіаційних перевезень  
Національного авіаційного університету,  
Заслужений діяч науки і техніки України,  
лауреат Державної премії України  
в галузі науки і техніки

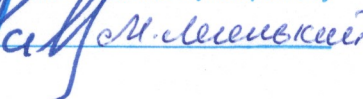
  
Петро ПАВЛЕНКО

25.11.21р



  
Гайдук Г. А.

свідчу  
Вчений секретар  
Національного авіаційного університету

  
Гайдук Г. А.