

## ВІДГУК

офіційного опонента доктора технічних наук, професора Стрихалюка Богдана Михайловича на дисертаційну роботу Зіненка Юрія Миколайовича на тему: «Методика оптимізації параметрів мереж майбутнього на базі теорії випадкових процесів», представлену на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі.

### Актуальність теми дисертації

Одним із головних сучасних пріоритетів України є входження нашої держави до глобального ринку інформаційних послуг.

Невід'ємною частиною глобального ринку є створення, обробка та передача інформації. Перехід від різномірних телекомунікаційних мереж до мереж майбутнього FN (Future Networks) поколінь мультисервісних мереж стає реальністю. Такі мережі FN поєднують у собі передавання голосу (мови), даних і відео, в них здійснюється конвергенція мобільних та фіксованих мереж. Для досягнення високого рівня доступності до інформаційних ресурсів, реалізації вимог ринку телекомунікаційних послуг потрібна така система, яка забезпечила б ефективне використання нових інформаційних технологій і телекомунікаційних комплексів.

Обмежені можливості традиційних мереж стають на шляху впровадження в Україні концепції обчислювальної мережі фізичних предметів (речей) які за допомогою власних технологій взаємодіють один з одним - Інтернет речей (Internet of Things, скорочено IoT). Як відомо Інтернет речей це глобальна мережа підключених до Інтернету фізичних пристроїв – «речей», оснащених сенсорами, датчиками і пристроями передачі інформації. Ці пристрої об'єднані за допомогою підключення до центрів контролю, управління і обробки інформації, зокрема за допомогою технології LTE, що є кращим рішенням для архітектур сучасних мереж, які працюють в умовах мегаполіса. На сьогодні ще недостатньо досліджено сигнали широкосмугових систем зв'язку, що мають практичний зміст і враховують багатоваріантний розвиток засобів та сучасних технологій.

## **Загальна характеристика роботи**

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету і завдання дослідження, визначено об'єкт, предмет, методи дослідження, визначено наукову новизну і практичне значення одержаних результатів, представлено загальну характеристику роботи, структуру та обсяг дисертації. Наведено відомості про впровадження результатів роботи, апробацію, особистий внесок автора, а також публікації за темою дисертації.

У **першому розділі** проаналізовано архітектуру глобальної інформаційної інфраструктури та шляхи її розвитку, досліджено загальні принципи побудови мереж майбутнього. Проведено порівняльний аналіз у мов та факторів, які впливають на розвиток мереж майбутнього, принципів побудови телекомуніційних мереж та організації їх управління. Визначено стратегії створення і розвитку мереж майбутнього а також їх оптимізації. Досліджено побудову телекомунікаційних мереж зв'язку майбутнього FN (Future Networks), в котрих закладена ідея створення універсальної мережі зв'язку, яка б дозволяла переносити будь-які види інформації, такі як: мова, відео, аудіо, графіка й т.д., а також забезпечує можливість надання необмеженого спектру інфокомунікаційних послуг з гнучким управлінням, персоналізацій та створенням нових послуг. FN припускає реалізацію універсальної транспортної мережі з розподіленою комутацією, винесення функцій надання послуг у кінцеві мережні вузли та інтеграцію з традиційними мережами телекомунікацій. Представлено функціональну модель мереж FN та архітектуру телекомунікаційної мережі зв'язку відповідно до концепції FN.

Визначено пріоритетне використання системи управління (СУ) FN, котра за рахунок гнучкості і масштабованості дозволяє легко адаптуватися до новітніх технологій, що надзвичайно актуально для мереж зв'язку України.

У **другому розділі** розроблено метод визначення результуючої цільової функції, який дозволяє здійснити векторний синтез мереж майбутнього. Показано, що при проектуванні мереж майбутнього доцільно зупинитися на виборі кількості показників якості, які враховуються при синтезі. Показано, що кількість показників, які характеризують якість реальної системи, може бути дуже великою. Це означає, що чим більша кількість показників якості враховується при синтезі системи, тим більш досконалою буде синтезована система. В той час, коли більше врахованих показників якості, тоді складніше провести синтез без введення порівняно грубих припущень. Тому на практиці існує оптимальна кількість показників

якості, яку необхідно враховувати. Введення додаткових показників якості призводить не до покращення, а до погіршення результатів синтезу.

Визначено, що при проектуванні системи управління необхідно враховувати наступні показники:

- кількість керуючої інформації (отже, і необхідну пропускну спроможність каналів), що забезпечує задану точність параметрів об'єктів мережі. При цьому визначається мінімальна кількість управляючої інформації, яка дозволяє СУ мати як властивість адаптивності до плинно спрогнозованих збурень, так і інваріантність до заздалегідь неспрогнозованих факторів;

- затримка керуючої інформації, при якій час передавання команд управління до контрольованих об'єктів не перевищує заданого;

- достовірність (вірогідність помилки) при передаванні управляючої інформації;

- вартість системи управління.

Визначено найважливіший параметр системи управління – затримку управління. Для ефективного зменшення затримки необхідно:

- при збільшенні інтенсивності надходження вимог – збільшувати продуктивність комутаційних вузлів, а не кількість обслуговуючих пристроїв;

- структура мережі повинна бути вибрана таким чином, щоб при заданій інтенсивності та продуктивності було якнайменше транзитних вузлів;

- на підставі розрахунку можна отримати залежність затримки управління від вартості та апроксимувати її відповідною функцією.

Представлені методи широко впроваджуються в системах управління сучасними телекомунікаційними мережами України та охоплюють новітні технологічні рішення. Це дозволяє на базі традиційного устаткування здійснювати більш ефективно та досконале управління мережами зв'язку.

**У третьому розділі** розроблена методика визначення середньої затримки інформації в телекомунікаційній мережі майбутнього.

Для вивчення впливу на мережу таких параметрів, як кількість та довжина пакетів, кількість вузлів, що надходять до мережі або проходять через неї в будь-який момент часу, кількість викликів, що надходять до мережі за заданий час, тривалість зайняття та одержання відповідних кількісних характеристик системи, повинні застосовуватися методи випадкових процесів.

У розділі представлено метод розрахунку затримки проходження інформації в інфокомунікаційній мережі, що дозволяє знайти залежність цієї затримки від різних параметрів, які визначають характеристику мережі.

**У четвертому розділі** розглянуто оптимізацію інформаційної моделі ієрархічної системи управління телекомунікаційними мережами майбутнього.

На основі аналізу критеріїв оптимізації ефективності роботи системи управління телекомунікаційної мережі майбутнього виконане моделювання процесу управління мережею майбутнього і запропонована математична модель СУ, яка дозволить провести її оптимізацію з метою покращення показників надійності мережі, що діє в умовах непрогнозованих відмов трактів, каналів і обладнання у період надзвичайної ситуації.

Розроблена математична модель мережі і проведена оцінка її функціонування в найскладніших умовах надзвичайного стану для вибору вагомих і впливових показників якості управління мережею і виконання подальших досліджень.

### **Наукова новизна та практична значущість результатів,отриманих в дисертаційної роботи**

Метою дисертаційної роботи є розв'язання комплексу науково-технічних питань, пов'язаних з оптимізацією параметрів мереж майбутнього для підвищення ефективності її функціонування, та вирішення задач з підвищення швидкості і завадостійкості передачі інформації.

Об'єкт дослідження – процес оптимізації параметрів мереж майбутнього.

Предмет дослідження – методи та моделі оптимізації мереж майбутнього для підвищення ефективності її функціонування на базі теорії випадкових процесів.

Наукова новизна одержаних результатів роботи полягає у наступному:

- розроблено систему показників та критеріїв якості функціонування мережі майбутнього для надання широкого спектру послуг в реальному масштабі часу, яка враховує метод експертних оцінок показників функціонування мережі в умовах самоподібного трафіку, та дозволяє удосконалити метод багатокритеріальної оптимізації параметрів мережі;

- удосконалено метод багатокритеріальної оптимізації параметрів мережі, який відрізняється від існуючих урахуванням вектору часткових критеріїв та дозволяє реалізувати оптимальне проектування мереж на базі векторного синтезу;

- отримала подальший розвиток методика оптимального проектування мереж майбутнього, яка на відміну від існуючих враховує випадковий характер потоків передачі інформації в умовах надзвичайних ситуацій. Дана методика дозволяє забезпечити функціонування мережі майбутнього із визначеними показниками якості;

- розроблено методику мінімізації затримки передавання інформації в мережах майбутнього з рівною структурою, яка базується на методі розв'язуючих функцій, що дозволяє забезпечити можливість надання широкого спектру послуг в реальному масштабі часу на базі обладнання останніх поколінь;

- удосконалено математичну модель ієрархічної системи управління мережами майбутнього, яка на відміну від існуючих враховує запропонований метод багатокритеріальної оптимізації параметрів мережі, що дозволяє здійснити проектування мереж із визначеними показниками якості.

### **Методи досліджень, використані в дисертаційній роботі**

Для досягнення поставлених в дисертаційній роботі задач використано наступні методи досліджень: теорії динамічного управління, багатокритеріальної оптимізації, теорії масового обслуговування, статистичного моделювання; методи системного аналізу; теорії управління, статистичного моделювання, експертних оцінок, теорії інваріантності.

### **Зв'язок дисертаційної роботи з науковими програмами, планами та темами**

Обраний напрям досліджень відповідає тематиці науково-дослідних робіт Державного університету телекомунікацій. Результати дисертаційної роботи знайшли застосування в науково-дослідній роботі «Система динамічного управління об'ємом та розподілом потоків телекомунікаційної мережі» (держ. реєстр. №0117U003604).

### **Обґрунтованість і достовірність наукових результатів, висновків та рекомендацій**

Обґрунтованість і достовірність наукових результатів, висновків та рекомендацій, викладених в дисертаційній роботі, досягаються ретельним багатостороннім системним аналізом реально існуючих процесів у сфері телекомунікацій взагалі та в об'єкті дослідження зокрема. Коректне використання методів досліджень та математичного апарату підтверджується результатами аналітичних доведень через математичні перетворення, результатами імітаційного моделювання, а також практичними результатами, які відображено в актах впровадження.

## **Наукове і практичне значення результатів, отриманих в дисертаційній роботі**

Обраний напрям досліджень відповідає тематиці науково-дослідних робіт Державного університету телекомунікацій. Результати дисертаційної роботи знайшли застосування в науково-дослідній роботі «Система динамічного управління об'ємом та розподілом потоків телекомунікаційної мережі» (держ. реєстр. №0117U003604).

Теоретичні та практичні результати дисертаційної роботи використовуються в навчальному процесі Державного університету телекомунікацій. Впровадження результатів досліджень підтверджуються відповідними актами, наведеними в додатку до дисертаційної роботи.

### **Публікації та апробація результатів дисертаційної роботи**

За результатами дисертаційної роботи опубліковано 11 наукових праць, з них 8 наукових статей [1-8] у фахових виданнях, 3 публікації [3] у матеріалах доповідей науково-технічних конференцій.

Основні теоретичні та практичні результати дисертаційної роботи доповідались і обговорювались на науково-технічних конференціях:

на VI Міжнародній науково-технічній конференції «Нові технології втелекомунікаціях», 2013р., Вишків, Івано-франківська обл.

на VII Міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми інформатизації», 2016р., Київ;

на Міжнародній науково-технічній конференції «Системи управління, навігації та зв'язку». Збірник наукових праць. - ПНТУ. – 2017, Полтава.

### **Зауваження до дисертаційної роботи**

1. В дисертації не обґрунтовано випадки в яких доцільно застосовувати методи багатокритеріальної оптимізації параметрів мережі майбутнього.

2. Не зрозуміло, яким чином враховуються особливості векторного синтезу для систем управління мереж майбутнього.

3. Не обґрунтовано застосування методу розв'язуючих функцій для аналізу кількісних характеристик середньої затримки передавання інформації в мережах майбутнього.

4. В четвертому розділі відсутні пояснення застосування випадкових чинників в задачі оптимізування.

5. У дисертаційній роботі відсутнє посилання на деякі формули.

## Висновки

1. Дисертаційна робота за змістом є закінченим науковим дослідженням, що містить нові науково-обґрунтовані результати, важливі на сучасному етапі перспективного розвитку національних телекомунікаційних мереж і цілком відповідає вимогам «Паспорту» спеціальності 05.12.02 - телекомунікаційні системи та мережі.

2. Розроблені методики оптимального проектування мереж майбутнього з врахуванням випадкового характер потоків передачі інформації в умовах надзвичайних ситуацій, мінімізації затримки передавання інформації та системи показників і критеріїв якості функціонування мережі майбутнього; удосконалено модель ієрархічної системи управління, що визначено метою дисертаційного дослідження. Таким чином, поставлені наукові задачі вирішені в повному обсязі, мета дослідження досягнута.

3. Автореферат повністю відображає зміст та основні положення дисертації.

4. За науковим рівнем, практичною цінністю, апробацією та публікаціями дисертаційна робота відповідає п. 9, 10 та 12 вимог «Порядку присудження наукових ступенів», а її автор – Зіненко Юрій Миколайович заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.02 - телекомунікаційні системи та мережі.

Офіційний опонент –  
заступник директора інституту телекомунікацій,  
радіоелектроніки та електронної техніки  
Національного університету  
«Львівська політехніка»,  
доктор технічних наук, доцент

Б.М. Стрихалюк

Підпис д.т.н. Стрихалюка Б.М. засвідчує  
Вчений секретар  
Національного університету  
«Львівська політехніка»



Р.Б. Брилинський