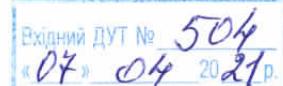


Голові спеціалізованої вченої ради  
ДФ.26.861.011  
Державного університету телекомунікацій  
доктору технічних наук, професору  
Зайші Віктору Федоровичу  
03110, м. Київ, вул. Солом'янська, 7

**ВІДГУК**  
**офіційного опонента доктор технічних наук, доцента**  
**Одарченка Романа Сергійовича**  
**на дисертацію Скрипнік Вікторії Володимирівни за темою:**  
**«Моделі та методи забезпечення якості обслуговування в**  
**мобільних мережах Інтернет речей», подану на здобуття**  
**наукового ступеня**  
**доктора філософії за спеціальністю**  
**172 «Телекомунікації та радіотехніка»**  
**галузь знань 17- Електроніка та телекомунікації**

#### **Актуальність обраної теми**

На сьогоднішній день рівень розвитку мобільних технологій дозволяє користувачу будь-якого сучасного пристрою (смартфону, планшету тощо) передавати, приймати та обробляти все більші об'єми інформації. В свою чергу це відкриває перед власником пристрою нові можливості обробки інформації у різних галузях життя (навчання, медицина, бізнес тощо) незалежно від її швидкості прийому/передачі.



Однак, обмежені можливості традиційних мереж не відповідають вимогам сьогодення та є стримуючим чинником на шляху впровадження інноваційних інфокомуникаційних послуг. В свою чергу, систем доступу на базі LTE, актуальної технології OFDM та її різноманітних модифікацій, є відмінним рішенням для розробки архітектур мереж Інтернету речей, які працюють в умовах мегаполісу.

Найближчим часом технічні рішення, які забезпечать плавний перехід до мереж мобільного зв'язку 5-го покоління, допоможуть операторам мобільного зв'язку задовольнити швидкозростаючий попит на мобільні сервіси, тому важливим завданням є оптимізація параметрів існуючих розгорнутих мереж LTE і, отже, визначення найкращих параметрів за вибраним вектором критеріїв.

Вищезазначене обумовлює актуальність теми дисертаційної роботи, спрямованої на вирішення наукової задачі, яка заключається в розробці методики забезпечення якісних показників обслуговування мобільних мереж в концепції Інтернету речей.

### **Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації**

Автор добре розуміє специфіку наукової задачі та коректно формулює її постановку у першому розділі дисертаційного дослідження.

При проведенні досліджень використовувались методи математичного аналізу та синтезу складних технічних систем, класичні методи теорії сигналів і систем, теорія зв'язку та методи теорії інформації, теорії ймовірностей і математичної статистики, методи теорії інваріантності і оптимального управління.

Під час проведення досліджень автор спирається на відомі факти та наукові досягнення у обраній сфері. Слід відмітити, що наукові положення та рекомендації, які сформульовані у роботі є науково обґрунтованими.

### **Достовірність одержаних результатів**

Обґрунтованість і достовірність наукових результатів, висновків та рекомендацій, викладених в дисертаційній роботі, досягаються 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 відображені в актах впровадження.

### **Наукова новизна та важливість результатів**

У результаті проведених досліджень розроблено методичні основи забезпечення якісних показників обслуговування мобільних мереж Інтернету речей. При цьому отримано наступні наукові результати:

1. Удосконалено нечітку часову модель розрахунку мобільності системи мереж Інтернету речей, яка формалізує вплив дестабілізуючих факторів на її функціонування, що дозволяє підвищити точність визначення ймовірнісно-часових характеристик та дозволить сформувати модель оцінки стану мережі, використовуючи лексико-графічну систему представлення інформації.
2. Розроблено алгоритм підвищення показників надійності систем зв'язку, з використанням дубльованої системи. Проведено порівняльний аналіз підвищення показників надійності систем зв'язку технології LTE для дубльованої системи, нерезервованої системи, для навантаженого дублювання без відновлення, а також для не навантаженого дублювання без відновлення. Доведено, що ненавантажений резерв є найбільш ефективною формою підвищення надійності системи з урахуванням вартості елементів резервування.
3. Розроблено математичну модель формування сімейства кільцевих кодів типу 001011 та доведено, що за допомогою цієї моделі можна сформувати кільцевий код зазначеного типу будь-якої довжини та з будь-якою кількістю одиничних символів. Даний код запропоновано в якості різновиду циклічного коду що дозволяє використовувати його для кодування та декодування інформації при побудові ефективного каналу мережі Інтернету речей.

4. Розроблено методику оптимального прийому багатопозиційних сигналів гексагонального сузір'я за критерієм ідеального спостерігача на базі модуляції високих порядків, що має найвищу завадостійкість сигналів за двома координатами ( $x, y$ ) наближену до потенційно можливої.

Таким чином, проведені наукові дослідження і одержані результати забезпечили вирішення актуальної наукової задачі по розробці методики забезпечення якісних показників обслуговування мобільних мереж Інтернету речей.

### **Аргументування та критичне оцінювання**

Метою роботи є розв'язання комплексу наукових задач, пов'язаних з розробкою методики забезпечення якісних показників обслуговування мобільних мереж Інтернету речей.

Об'єкт дослідження – радіомережа бездротового доступу на базі технологій LTE. Предметом дослідження визначено якісні показники систем обслуговування мобільних мереж Інтернету речей.

Для досягнення поставленої мети у роботі вирішенні наступні наукові задачі:

- розроблено методику підвищення показників надійності систем LTE;
- розроблено методику розрахунку параметрів сигналів з підвищеною завадостійкістю;
- розроблено математичну модель формування сімейства кільцевих кодів типу 001011;
- розроблено методику оптимального прийому багатопозиційних сигналів гексагонального сузір'я на базі модуляції високих порядків за критерієм ідеального спостерігача;
- проведено оцінку ефективності системи для передачі інформації у великих об'ємах;

- проведено порівняльний аналіз підвищення показників надійності для дубльованої системи, нерезервованої системи, для навантаженого дублювання без відновлення, а також для ненавантаженого дублювання без відновлення.

### **Практична значимість та важливість для галузі**

Практична значимість та важливість для галузі полягає у тому, що теоретичні та практичні результати дисертаційної роботи використовуються в ПрАТ «Фарлеп-Інвест».

### **Оцінка змісту дисертації, її завершеність у цілому, відповідність оформлення дисертації**

Дисертація складається з чотирьох розділів, в яких логічно на високому науково-технічному рівні викладено рішення поставленої задачі дослідження.

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету і завдання дослідження, визначено об'єкт, предмет, методи дослідження та вирішення задач, визначено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів. Наведено відомості про практичну цінність результатів роботи. Представлено обсяг дисертації.

У **першому розділі** розглянуті основні тематичні завдання, що висуваються для підвищення якості функціонування мереж зв'язку стандарту LTE.

Продемонстровані основні характеристики та вимоги до стандарту мобільних систем четвертого покоління (4G), які задовольняють вимогам мереж Інтернету речей.

У **другому розділі** представлена та розроблена модель опису зовнішніх дестабілізуючих факторів на параметри мережі зв'язку за допомогою нечітких класифікаторів.

Наведено алгоритм підвищення показників надійності систем зв'язку, з

використанням дубльованої системи. Представлений порівняльний аналіз підвищення показників надійності для дубльованої системи.

**У третьому розділі** розроблено математичну модель формування сімейства кільцевих кодів типу 001011. Представлені доведення що за допомогою цієї моделі можна сформувати кільцеві коди будь-якої довжини та з будь-якою кількістю одиничних символів. Запропонований циклічний код дозволяє використовувати його для кодування та декодування інформації при побудові ефективного каналу мережі Інтернету речей.

**У четвертому розділі** запропоновано методику оптимального прийому амплітудно-фазорізницевої модуляції гексагональних сигнальних сузір'їв високих порядків. При цьому різниця фаз розраховується між трьома і більше посилками.

Проведено порівняльну характеристику завадостійкості систем при використанні багатопозиційних сигналів та надано їх порівняльний аналіз по коефіцієнту завадостійкості.

На основі проведеного аналізу адаптаційних механізмів, що відбуваються в системах безпроводового зв'язку нового покоління, розроблено вдосконалений метод, який дозволяє визначити оптимальні параметри сигналів з підвищеною завадостійкістю для когнітивних радіомереж OFDM. На відміну від відомих методів, цей метод забезпечує можливість суттевого пониження ймовірності переривання зв'язку при передаванні особливо цінної інформації сигналами OFDM в умовах гранично низьких відношень сигнал/шум та обмеженої кількості частотних каналів.

В результаті зроблених розрахунків визначені імовірності похибки для різних відношень сигнал/завада.

Визначено оптимальну кількість посилок для гексагональних багатопозиційних сигналів з числом позицій що дорівнює 16, 32, 64, 128.

Висновки дисертаційної роботи підкреслюють наукову новизну і практичну цінність розробок.

## **Оцінка мови та стилю викладання**

Мова та стиль викладення дисертації свідчать про вміння автора аргументовано формулювати думки. Всі розділи роботи мають внутрішню єдність та завершеність. Змістовне наповнення підрозділів роботи відповідає змісту визначених розділів.

Отримані підсумкові результати дисертації повністю співпадають із метою і науковими завданнями, сформульованими у вступі. В цілому дисертаційна робота сприймається як закінчена наукова праця, що містить нові наукові результати.

## **Підтвердження повноти викладу результатів дисертації в наукових фахових виданнях**

Наукова новизна безсумнівна та достатня для дисертації на здобуття наукового ступеня доктора філософії.

За результатами досліджень опубліковано 7 наукових праць, з них: 4 статті у фахових науково-технічних журналах, 1 стаття у міжнародному виданні та 1 публікація за матеріалами науково-технічної конференції.

## **Недоліки**

1. У першому розділі недостатньо проаналізовано стан впровадження мереж 5-го покоління (5G) в світі та перспективи розгортання даного типу мереж в Україні.

2. У другому розділі при описі моделі оцінки мобільності децентралізованої бездротової мережі було б доцільно більше уваги приділити процесу збільшення пропускної здатності мережі LTE для потреб Інтернету речей і розширення її зони покриття.

3. В третьому розділі дисертаційної роботи не зазначені конкретні системи, для яких було приведено диференційні рівняння ймовірностей станів варіантів дубльованої системи.

4. У четвертому розділі недостатньо уваги приділено невизначеності

частотних характеристик, зумовлених неможливістю апріорного виміру параметрів мережі LTE.

5. У дисертаційній роботі було б доцільно більш детально висвітлити методику розрахунку завадозахищеності багатопозиційних сигналів.

### **Висновок**

Вивчення дисертаційної роботи, та опублікованих здобувачем наукових праць дозволяє стверджувати, що дисертаційна робота присвячена актуальній темі. Вона представляє собою логічно завершене наукове дослідження, що містить нові обґрунтовані наукові результати, які у суккупності є вирішенням науково-прикладної задачі, відповідає паспорту спеціальності та вимогам пунктів 9, 18 «Порядку проведення експерименту з присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України, а її автор Скрипнік Вікторія Володимирівна заслуговує присудження їй наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 172 «Телекомунікації та радіотехніка» галузі знань 17 «Електроніка та телекомунікації».

Офіційний опонент,  
доктор технічних наук, доцент,  
завідувач кафедри телекомунікаційних  
та радіоелектронних систем  
Національного авіаційного університету

P.S. Одарченко



Особистий підпис гр.	<u>Одарченко Р.С.</u>
ЗАСВІДЧУЮ	
Заступник начальника відділу кадрів	
Національного авіаційного університету	

*Р. С. Одарченко* 13.09.2023