

## **РЕЦЕНЗІЯ**

### **рецензента**

к.т.н., старшого наукового співробітника Дергачова Костянтина Юрійовича  
на дисертаційну роботу Лейченка Кирила Миколайовича

**«МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ПЛАНУВАННЯ РОЗГОРТАННЯ ЛІТАЮЧИХ  
МЕРЕЖ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ В УМОВАХ  
РУЙНУВАНЬ»**,

представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії  
в галузі знань 12 Інформаційні технології  
за спеціальністю 123 Комп'ютерна інженерія

### **Актуальність теми дослідження.**

Функціонування об'єктів критичної інфраструктури під час виникнення та розвитку аварії передбачає передачу до кризового центру даних про стан технологічного обладнання і відеоінформації про ступінь пошкоджень виробничих приміщень, наявність в них постраждалих, а також осередків згорання або задимлення. Штатний дротовий та радіозв'язок, який забезпечує надходження такої інформації, може бути пошкоджений внаслідок впливу несприятливих факторів аварій. У якості альтернативного рішення, спрямованого на забезпечення посадових осіб кризового центру необхідною інформацією, може розглядатися розгортання літаючої LiFi мережі на основі безпілотних літальних апаратів (БПЛА). Наявність останніх у якості складової LiFi мережі дозволяє її швидко розгортати, а за потреби – швидко змінювати її конфігурацію та масштабувати. Однак суттєвою вадою LiFi технологій є неможливість проникнення світлового сигналу крізь механічні перешкоди. Тому важливими завданнями є прокладання маршрутів розповсюдження LiFi сигналу в обхід цих перешкод, визначення місць розташування на цих прокладених маршрутах БПЛА для утворення літаючої LiFi мережі, а також забезпечення гарантованого функціонування мережі впродовж заданого часу. Саме на вирішення цих важливих завдань спрямовані дослідження здобувача, що робить їх актуальними як з наукової, так і практичної точок зору.

### **Оцінка обґрунтованості наукових результатів, їх достовірності та новизни.**

Обґрунтованість наукових результатів забезпечується автором шляхом застосування загальновідомих методів досліджень, зокрема методів системного аналізу, оптимізації, теорії надійності, теорії розкладів, теорії графів, математичного моделювання, а також ретельною підготовкою вхідних даних з урахуванням вже відомих напрацювань у цій галузі інших вчених і заздалегідь розробленою схемою проведення досліджень.

Достовірність результатів забезпечується покроковою перевіркою на тотожність результатів вирішення одних і тих же завдань аналітичними

розрахунками і імітаційним моделюванням, а також їх критичним аналізом і корегуванням за результатами експертиз науково-дослідних проєктів, у яких розміщено наукові результати дисертанта, рецензування наукових публікацій в періодичних виданнях та виступів на наукових конференціях.

Наукову новизну одержаних результатів дисертаційної роботи складає наступне:

1) *вперше запропоновано методи планування розміщення БПЛА літаючої LiFi мережі для забезпечення передачі даних в умовах руйнувань*, які на відміну від відомих враховують структурно-просторові параметри перешкод і базуються на комбінуванні алгоритмів прокладання маршрутів за різними стратегіями їх обходу, та надають змогу мінімізувати довжину маршруту та/або кількість необхідних БПЛА;

2) *удосконалено метод розміщення БПЛА літаючої LiFi мережі для забезпечення передачі даних в умовах руйнувань* шляхом формування та вибору маршрутів польоту у визначені точки у просторі для утворення мережі з урахуванням різних варіантів базування БПЛА, що зменшує сумарні часові та вартісні витрати на розгортання мережі;

3) *удосконалено метод підвищення надійності літаючої LiFi мережі* шляхом розроблення моделі та алгоритмів випереджувальної заміни БПЛА з урахуванням вимог до ймовірності безвідмовної роботи мережі, показників безвідмовності та автономності окремих БПЛА, що забезпечує гарантоване функціонування мережі впродовж заданого часу.

### **Практична цінність отриманих результатів.**

Практична цінність результатів дисертації підтверджується їх впровадженням у науково-дослідну та навчальну діяльність кафедри комп'ютерних систем, мереж і кібербезпеки Національного аерокосмічного університету ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», а також у товаристві з обмеженою відповідальністю «СІДІ ЛІНК».

### **Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання академічної доброчесності.**

За своїм змістом дисертаційна робота Лейченка К. М. повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 123 Комп'ютерна інженерія третього освітньо-наукового рівня.

Дисертаційна робота являє собою одноособово написану кваліфікаційну наукову працю, яка містить сукупність результатів та наукових положень, має внутрішню єдність і свідчить про особистий внесок автора у науку. Дослідження спрямовано на розроблення методів і програмних засобів підтримки розгортання безпілотних літаючих LiFi мереж для забезпечення передачі даних в умовах руйнувань з урахуванням вимог до часових і надійнісних характеристик.



Дисертація виконана з дотриманням вимог академічної доброчесності, отримані результати дають підстави говорити про оригінальність роботи.

### **Оформлення дисертації та її структура.**

Оформлення дисертації здійснено із дотриманням вимог наказу МОН України № 40 від 12 січня 2017 р. «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел із 69 найменувань та двох додатків. Загальний обсяг дисертації складає 183 сторінки.

У *вступі* обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету, об'єкт, предмет і завдання дослідження, перелічено використовувані методи досліджень, показано наукову новизну отриманих результатів, повноту їх опублікування і апробацію, а також зазначено зв'язок матеріалів дисертаційної роботи з науковими програмами і темами.

У *першому розділі* проведено аналіз застосування БПЛА для передачі даних в приміщеннях, на підставі якого визначено широкий спектр застосування БПЛА у приміщеннях, визначено основні проблеми, з якими доводиться стикатися під час застосування БПЛА в умовах складного внутрішнього планування будівель та наявності в них перешкод. Проаналізовано існуючі методи, алгоритми та програмні засоби розгортання літаючих бездротових мереж в умовах руйнувань з фокусуванням на перевагах та недоліках LiFi технологій. Описано послідовність планування розгортання літаючої LiFi мережі на основі БПЛА у виробничому приміщенні з перешкодами.

У *другому розділі* розглянуто методи планування розміщення БПЛА літаючої LiFi мережі з використанням для обходу перешкод під час прокладання LiFi маршрутів алгоритмів прямокутників, які включають алгоритми лівого й правого кутів та алгоритму керованого водоспаду, який поєднує переваги попередніх алгоритмів та має додаткове правило обходу перешкод. Під час порівняльного аналізу алгоритм керованого водоспаду показав найкращі значення серед інших алгоритмів як за довжиною LiFi маршруту, так і за кількістю БПЛА, що необхідна для розгортання LiFi мережі.

У *третьому розділі* розглянуто особливості розміщення БПЛА літаючої LiFi мережі з використанням різних стратегій розгортання однотипних БПЛА із стаціонарного депо, яке розташоване у приміщенні з перешкодами. Здійснено порівняльний аналіз стратегій розгортання для заданого набору вхідних даних. Запропоновано метод забезпечення функціонування розгорнутої LiFi мережі із визначеною ймовірністю безвідмовної роботи впродовж заданого часу. Показано приклад застосування розробленого методу для випадку забезпечення безперебійного функціонування LiFi мережі двома змінними БПЛА за заздалегідь розробленим графіком польотів до свого місця розташування на LiFi маршруті і повернення до стаціонарного депо.

У *четвертому розділі* описана архітектура, базовий функціонал та наведено приклади застосування програмних засобів, розроблених з метою підтримки розгортання безпілотних літаючих LiFi мереж для забезпечення передачі даних в умовах руйнувань з урахуванням вимог до часових і надійнісних характеристик.

У *висновках* подано сумарну оцінку результатів дослідження, їх значимість і практичну застосовність, а також запропоновані напрямки подальших досліджень.

*Список використаних джерел* характеризується достатньою для обраного предмету досліджень кількістю сучасних наукових праць вітчизняних та закордонних науковців, має тісний зв'язок з вирішуваними у дисертаційній роботі завданнями.

У *додатку А* подано копії актів впровадження наукових результатів, а у *додатку Б* наведено лістинги кодів розроблених програмних засобів.

### **Оприлюднення результатів роботи.**

Наукові результати висвітлено у *шести* наукових публікаціях:

– *одна* стаття у науковому виданні, включеному на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України категорії Б за спеціальністю 123 Комп'ютерна інженерія, з двома співавторами (разом із здобувачем), яка прирівнюється до *однієї* публікації;

– *одна* стаття у науковому виданні, включеному на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України категорії Б за спеціальністю 123 Комп'ютерна інженерія, з трьома співавторами (разом із здобувачем), яка прирівнюється до *0,5* публікації;

– *одна* стаття у науковому виданні, включеному на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України категорії А за спеціальністю 123 Комп'ютерна інженерія, проіндексованому у базі даних Scopus та віднесеному до третього квартилю (**Q3**) відповідно до класифікації SCImago Journal and Country Rank, яка прирівнюється до *двох* публікацій;

– *одна* публікація у закордонному періодичному науковому виданні, проіндексованому у базі даних Scopus та віднесеному до четвертого квартилю (**Q4**) відповідно до класифікації SCImago Journal and Country Rank, яка прирівнюється до *однієї* публікації;

– *дві* публікації *апробаційного характеру* у матеріалах міжнародних конференцій під егідою Інституту інженерів з електротехніки та електроніки (Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)), проіндексованих у базі даних Scopus.

### **Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.**

1. Не зрозуміло, які саме за характеристиками використовуються БПЛА та якими саме навігаційною системою та системою уникнення зіткнень (Traffic



Collision Avoidance System (TCAS)) вони обладнані щоб виконувати розгортання LiFi мережі у приміщенні.

2. Було б доцільно у другому розділі більш детально обґрунтувати вибір для пошуку найкоротшого маршруту на графі алгоритму Дейкстри, зробивши порівняльний аналіз з алгоритмами Беллмана-Форда, Флойда-Воршелла, A-star тощо.

3. Було б доцільно розглянути у третьому розділі для утворення літаючої LiFi мережі стратегії розгортання групи різнотипних БПЛА.

### **Висновок про дисертаційну роботу.**

Вважаю, що дисертаційна робота Лейченка Кирила Миколайовича на тему «Методи та засоби планування розгортання літаючих мереж для забезпечення передачі даних в умовах руйнувань» не порушує принципів академічної доброчесності і є завершеним науковим дослідженням, сукупність теоретичних і практичних результатів якого розв'язує наукове завдання, що має істотне значення для спеціальності 123 Комп'ютерна інженерія.

Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам пунктів 6–9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України № 44 від 12 січня 2022 р.

Здобувач Лейченко Кирило Миколайович заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії в галузі знань 12 Інформаційні технології за спеціальністю 123 Комп'ютерна інженерія.

**Рецензент:** кандидат технічних наук,  
старший науковий співробітник,  
завідувач кафедри систем управління  
літальними апаратами  
Національного аерокосмічного університету  
ім. М. Є. Жуковського  
«Харківський авіаційний інститут»

20.05.2024



Костянтин ДЕРГАЧОВ

Підпис Дергачова Костянтина Юрійовича засвідчую:  
Учений секретар Національного аерокосмічного  
університету ім. М. Є. Жуковського  
«Харківський авіаційний інститут»



Тетяна БОНДАРЄВА