

## **РЕЦЕНЗІЯ**

на дисертаційну роботу

Сушина Ігоря Олексійовича

на тему «Метод підтримки зв'язності мобільної мережі сенсорів спрямованої дії із використанням телекомунікаційних аероплатформ різнорівневого розташування»,

представлену на здобуття ступеня доктора філософії

в галузі знань 17 Електроніка та телекомунікації  
за спеціальністю 172 Телекомунікації та радіотехніка

### **Актуальність теми дисертації.**

Мобільні сенсорні мережі (МСМ) з використанням телекомунікаційних аероплатформ (ТА) являють собою невід'ємну частину телекомунікаційної інфраструктури. Вони є важливим інструментом для вирішення багатьох завдань, особливо в умовах стихійних лих, катастроф тощо. Існуючі наукові і практичні підходи щодо способів підтримки функціонування мобільних сенсорних мереж в умовах відсутності телекомунікаційної інфраструктури показують, що є об'єктивна необхідність апаратно-алгоритмічного вдосконалення існуючих мереж даного типу для зменшення часу затримки передачі інформації та збільшення швидкості її передачі з кінця в кінець, зменшення кількості безпосередньо задіяних телекомунікаційних аероплатформ та інших показників із врахуванням потреби економнішого використання наявного в вузлах мережі та на борту телекомунікаційних аероплатформ енергетичного ресурсу. Застосування мобільної мережі сенсорів спрямованої дії з телекомунікаційними аероплатформами різнорівневого розташування дозволить вирішити задачу покращення ефективності функціонування існуючих мобільних сенсорних мереж з телекомунікаційними аероплатформами.

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

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

- вперше розроблено математичну модель підтримки зв'язності мобільної мережі сенсорів спрямованої дії з телекомунікаційними аероплатформами різнорівневого розташування, яка на відміну від існуючих математичних моделей мобільних сенсорних мереж з телекомунікаційними аероплатформами включає до свого складу математичні моделі функціонування сенсорів спрямованої дії і телекомунікаційні аероплатформи дворівневого розташування з різним енергетичним забезпеченням.

- вперше розроблено метод підтримки зв'язності вузлів мобільної мережі сенсорів спрямованої дії з телекомунікаційними аероплатформами різнорівневого розташування, який на відміну від існуючих методів підтримки зв'язності вузлів мобільних сенсорних мереж з телекомунікаційними аероплатформами дозволяє ефективно використовувати антени спрямованої дії, що розташовані на сенсорах і телекомунікаційних аероплатформах дворівневого просторового розташування із різним енергетичним забезпеченням, завдяки чому досягається зменшення часу затримки, збільшення швидкості передачі інформації з кінця в кінець та зменшення кількості безпосередньо задіяних телекомунікаційних аероплатформ порівняно із мобільними сенсорними мережами з телекомунікаційними аероплатформами.

Наукові дослідження були виконані здобувачем на кафедрі телекомунікацій КПІ ім. Ігоря Сікорського в рамках ініціативних НДР «Розробка алгоритмів динамічної фільтрації для оцінювання параметрів руху безпілотних літальних апаратів при їх використанні в безпроводових сенсорних мережах FANET», д/р - № 0119U102043 (початок 05.2019 – закінчення 12.2024) і «Розвиток методів оптимізації низькоорбітальних кластерних супутникових систем зв'язку, навігації та моніторингу», д/р - № № 0122U200110 (початок 05.2022 – закінчення 12.2027) та бюджетної НДР № 2316 „Інтелектуалізація систем управління високопродуктивними сенсорними мережами на основі використання роботизованих об'єктів та обчислювальної FOG-інфраструктури”, д/р - № 0120U102181 (початок 04.2020 – закінчення 12.2022) під керівництвом професора кафедри телекомунікацій, д.т.н., професора Лисенка Олександра Івановича.

Отже, в дисертаційній роботі поставлене наукове завдання підвищення ефективності функціонування мобільних сенсорних мереж із використанням телекомунікаційних аероплатформ виконано повністю, здобувач повною мірою оволодів методологією наукової діяльності.

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

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Сушина І.О. повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка та напрямкам досліджень відповідно до освітньої програми Телекомунікації та радіотехніка.

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у науковий напрям Інформаційні та комунікаційні технології.

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадіння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Сушина Ігоря Олексійовича є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають належні посилання на відповідне джерело.

### **Мова та стиль викладення результатів.**

Дисертаційна робота написана українською мовою. Робота має логічно правильну структуру, матеріал викладений послідовно, змістовно, з усіма необхідними поясненнями, розрахунками та графічним матеріалом, термінологія використовується загальноживана, що дає змогу сприймати легко матеріал.

Дисертація складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, списку літератури та додатків. Загальний обсяг дисертації 164 сторінки.

У вступі виконано обґрунтування актуальності обраної теми дисертаційної роботи: пояснена важливість мобільних сенсорних мереж з використанням телекомунікаційних аероплатформ в умовах відсутності телекомунікаційної інфраструктури та необхідність їх апаратно-алгоритмічного вдосконалення. Сформульовано мету, об'єкт, предмет та визначено завдання дослідження, надано інформацію про наукову новизну роботи, теоретичне та практичне значення, апробацію основних результатів дослідження на наукових конференціях та їх публікацію у формі статей у фахових виданнях.

У першому розділі на основі розгляду наукових джерел висвітлено сучасні підходи, що використовуються при зборі даних з вузлів безпроводових сенсорних мереж та мобільних сенсорних мереж зокрема. Проведено аналіз існуючих на сьогодні методів організації інфраструктури мобільної сенсорної мережі в умовах відсутності сталих телекомунікаційних мереж (із використанням мобільних базових станцій, транспортних засобів, телекомунікаційних аероплатформ), технологій передачі даних та необхідних для цього апаратних засобів. Вдосконалення існуючих мобільних сенсорних мереж із використанням телекомунікаційних аероплатформ було визначено ключовим напрямком, який є найбільш універсальним способом передачі даних. Результатом першого розділу став перелік цілей та задач досліджень, які були досягнуті та описані у наступних розділах.

У другому розділі розглянуто та проаналізовано систему прототип мобільної сенсорної мережі із телекомунікаційними аероплатформами, а саме: її структуру та принципи функціонування. Визначено недоліки алгоритмів обміну і збору даних, що дало розуміння актуальності та необхідності подальшого розвитку систем даного типу. Як наслідок, висунуто ідею створення мережі, що використовує сенсори спрямованої дії та різномірні

телекомунікаційні аероплатформи різнорівневого розташування для підвищення ефективності функціонування в умовах відсутності телекомунікаційної інфраструктури. Розроблено математичну модель і метод завдяки якому можливо забезпечити підтримку зв'язності вузлів мобільної мережі сенсорів спрямованої дії з використанням телекомунікаційних аероплатформ різнорівневого розташування із досягненням переваг над існуючими мобільними сенсорними мережами з телекомунікаційними аероплатформами за наступними основними критеріями: швидкість та час передачі інформації, кількість безпосередньо задіяних ТА. Обчислення скалярних складових векторного критерію виконувалося за допомогою представленої алгоритмічно заданої математичної моделі.

У третьому розділі виконано апаратну реалізацію запропонованого методу. Проведено аналіз антен спрямованої та всеспрямованої дії, які використовуються для мобільних пристроїв, зокрема, в сенсорних вузлах. Визначено переваги та недоліки кожного типу, а також перспективи подальшого розвитку напрямку сенсорів спрямованої дії. Проведено розрахунок максимальної довжини лінії зв'язку ТА-вузол (або між ТА двох рівнів), що підтверджується порівняльним комп'ютерним моделюванням у середовищі Atoll. Результати представлені у вигляді таблиць та сімейств графіків і показують перевагу при застосуванні спрямованих та вузькоспрямованих антен у порівнянні із всеспрямованими, що використовуються в існуючих мобільних сенсорних мережах із телекомунікаційними аероплатформами.

У четвертому розділі проведено імітаційне моделювання за допомогою програмного комплексу Matlab та оцінка ефективності запропонованого методу підтримки зв'язності мобільної мережі сенсорів спрямованої дії із використанням телекомунікаційних аероплатформ різнорівневого розташування згідно визначеного переліку критеріїв. Побудовано математичні моделі існуючої системи прототип і запропонованої в дисертації системи (мобільної мережі сенсорів спрямованої дії із використанням телекомунікаційних аероплатформ дворівневого розташування). Представлені результати у вигляді графіків та загальної таблиці показують покращення запропонованого методу за всіма визначеними критеріями.

У списку використаних джерел автором представлено 113 наукові праці, включаючи джерела мережі Інтернет.

У додатках автор наводить акт впровадження результатів дисертаційного дослідження в навчальний процес кафедри телекомунікацій НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського» та свідоцтва про реєстрацію авторського права на твір.

Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

### **Оприлюднення результатів дисертаційної роботи.**

Наукові результати дисертації висвітлені у 40 наукових публікаціях здобувача, серед яких: 15 статей у наукових виданнях, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України; 4 статті у періодичних наукових виданнях, проіндексованих у базах даних Scopus.

Також результати дисертації були апробовані на 14 наукових фахових конференціях та у 7 статтях, що додатково відображають результати дисертації.

Публікації здобувача Сушина І.О. характеризуються високим рівнем підготовки, оригінальністю та дотриманням принципів академічної доброчесності. Для наукових публікацій опублікованих у співавторстві, зарахованих за темою дисертації, чітко вказано особистий внесок автора.

Таким чином, наукові результати описані в дисертаційній роботі повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувача.

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

1. Проведений аналіз способів збору інформації з мобільних сенсорних мереж при відсутній телекомунікаційної інфраструктурі складається з трьох варіантів, але враховуючи актуальність теми та постійні дослідження в даному напрямку, їх кількість могла бути більшою.

2. У проведеному аналізі технологій передачі даних не приділено уваги комбінуванню різних протоколів, що активно застосовується для підвищення ефективності функціонування мобільних сенсорних мереж із телекомунікаційними аероплатформами.

3. При виборі апаратних засобів багато уваги приділено антенним рішенням, але не проведено більш детального аналізу приймально-передавального тракту, що дозволило би чіткіше обґрунтувати вибір радіочастотних параметрів при моделюванні.

4. При проведенні імітаційного моделювання встановлене співвідношення телекомунікаційних аероплатформ до сенсорів є досить великим. Доцільно провести оцінку ефективності при обслуговуванні сенсорів меншою кількістю телекомунікаційних аероплатформ.

Вважаю, що висловлені зауваження не є визначальними і не зменшують загальну наукову новизну та практичну значимість результатів та не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи.

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

Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Сушина Ігоря Олексійовича на тему «Метод підтримки зв'язності мобільної мережі сенсорів спрямованої дії із використанням телекомунікаційних аероплатформ різнорівневого розташування» виконана на високому науковому

рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є закінченим науковим дослідженням, сукупність теоретичних та практичних результатів якого розв'язує наукове завдання, що має істотне значення для Електроніки та телекомунікацій. Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в п.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 від 12 січня 2022 р. № 44.

Здобувач Сушин Ігор Олексійович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 17 Електроніка та телекомунікації за спеціальністю 172 Телекомунікації та радіотехніка.

**Рецензент:**

Доцент кафедри РТС, РТФ,  
КПІ ім. Ігоря Сікорського,  
к.т.н., доцент



Олександр ШПИЛЬКА

« 23 » квітня 2025 року