

# **ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА**

на дисертаційну роботу

**Шамаханова Владислава Костянтиновича**

«Моделі та методи для аналізу динаміки та керування розгортанням космічного  
радару на базі офсетної антени»,

представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії  
за спеціальністю **151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані  
технології**

## **Актуальність теми дисертації**

Однією з ключових тенденцій сучасної космонавтики є використання трансформованих конструкцій, які дозволяють забезпечити необхідні характеристики космічних апаратів при обмежених масо-габаритних параметрах. Серед них особливе місце займають офсетні антени космічних радарів, розгортання яких супроводжується складними динамічними процесами. Ненадійність або асинхронність у роботі таких систем може призвести до порушення геометрії антени та зниження ефективності всієї місії.

У дисертаційній роботі акцентовано увагу на побудові математичних моделей і методів керування, що враховують вплив гнучкості елементів, сил тертя та інших факторів. Запропоновані рішення спрямовані на зниження ризиків відмов під час розгортання та скорочення обсягу коштовних експериментальних перевірок. Це підтверджує актуальність обраної тематики, як у науковому, так і у практичному аспектах.

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

Дисертаційне дослідження виконувалося в рамках індивідуального плану підготовки аспіранта та відповідно до тематики планів науково-дослідних робіт Інституту технічної механіки НАНУ і ДКАУ, а саме фундаментальної наукової теми "Розробка та вдосконалення методів системного аналізу, керування та дослідження динаміки, спрямованих на створення об'єктів космічної техніки" (тема III-110-21, № ДР 0121U100542).

## **Структура роботи, оцінка змісту дисертації та її завершеність**

Дисертація складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. У вступі чітко визначено мету, об'єкт і предмет дослідження, сформульовано наукову новизну та практичне значення.

У першому розділі наведено критичний огляд літератури та аналіз існуючих підходів до створення систем розгортання космічного радару на базі офсетної антени

Другий розділ присвячений побудові математичних моделей антени з урахуванням реальних конструктивних особливостей. Модель враховує деформації гнучких елементів конструкції, натяг сіток та полотна, що відбиває, а також вплив тертя між тросами та шківками системи розгортання. Наведено результати числових розрахунків щодо процесів розгортання сітчастої антени.

У третьому розділі розглянуто застосування методів навчання з підкріпленням для синтезу законів керування. Представлено результати експериментів з різними структурами інтелектуального агента, функціями винагороди та параметрами навчання. Результати демонструють адаптивність до змін конфігурації системи та розбіжностей між моделлю та реальним об'єктом, що призводить до більш плавного та надійнішого розгортання конструкції.

У четвертому розділі досліджено процес розгортання прямолінійних штанг. Розглянуто конструкцію з трьох з'єднаних трубчастих секцій, які розгортаються під дією відцентрових сил при обертанні космічного апарата. Побудовано динамічну модель з урахуванням гравітаційного поля Землі, масового розподілу штанги та особливостей шарнірних з'єднань. Модель дозволяє оцінити можливість розкриття штанги при просторовому обертанні космічного апарата, визначити критичні режими та умови його стабілізації після розгортання.

Висновки роботи повністю відображають виконання поставлених завдань і підтверджують досягнення мети.

## **Наукова новизна результатів дисертаційної роботи**

Наукова новизна дослідження полягає у наступному:

- Вперше розроблено закони керування асинхронним розгортанням офсетної антени із використанням тросових механізмів без синхронізуючих шарнірів.
- Удосконалено математичні моделі динаміки антени з урахуванням впливу сил тертя у шківках, пружності та не симетрії конструкції.
- Вперше застосовано методи навчання з підкріпленням для задачі керування розгортанням стрижневих космічних конструкцій в умовах стохастичних збурень.
- Модифіковано метод відцентрового розкриття багатосекційної штанги, що дало змогу знизити масу системи й підвищити надійність розгортання.

### **Ступінь обґрунтованості наукових положень і достовірності результатів**

Основні положення та висновки, що представлені в дисертаційній роботі науково обґрунтовані. Достовірність отриманих результатів забезпечується застосуванням фундаментальних фізичних законів, припущень і коректних математичних підходів, а також використанням методів і алгоритмів, що мають належне теоретичне обґрунтування та не суперечать загальновизнаним науковим положенням. Результати моделювання добре узгоджуються з відомими результатами інших авторів. Основні висновки апробовані на наукових конференціях і семінарах.

### **Практична значимість результатів дисертаційної роботи**

Практичне значення полягає у створенні методів, що дозволяють:

- скоротити кількість натурних експериментів при проектуванні антен для малих супутників;
- зменшити ризики асинхронності розгортання та деформацій конструкції;
- створити передумови для впровадження адаптивних систем керування на основі сучасних алгоритмів.

Таким чином, результати роботи можуть бути використані як у проектуванні космічних апаратів з конструкціями, що трансформуються, так і в подальших дослідженнях динаміки та керування системами космічного застосування.

## **Повнота викладу результатів у публікаціях**

За темою дисертації опубліковано п'ять статей у фахових виданнях України категорії Б, одна стаття у іноземному журналі другого квартеля (Scopus, Web of Science) та шість тез доповідей на міжнародних конференціях. Загальна кількість публікацій відповідає вимогам до дисертаційних робіт такого рівня.

## **Оформлення дисертаційної роботи та дотримання академічної доброчесності**

Оформлення дисертаційної роботи відповідає існуючим вимогам МОН України. Текст дисертації викладений послідовно з використанням професійної термінології. Усі цитування подані коректно, ознак академічного плагіату чи порушень доброчесності не виявлено. Основні результати підтверджені публікаціями автора у статтях у фахових виданнях.

## **Зауваження і рекомендації щодо змісту дисертації**

1. З тексту дисертації не зрозумілі вимоги до обчислювальних ресурсів та розрахунковий час, що необхідні для проведення повного моделювання процесу розгортання радара.
2. Можливість застосування навчання з підкріплення для пошуку оптимального закону розгортання рефлектора продемонстровано з використання моделі однієї секції кільця, але не наведено аргументів, чому саме цей саме підхід може бути успішно застосований для розгортання реальної конструкції.
3. В розділі 4 складно зрозуміти, яким чином моделюється фіксація шарнірів штанги при її відцентровому розкритті.
4. На графіках підписи виконано англійською мовою, на окремих рисунках відсутні підписи осей або одиниці вимірювання.

Зазначені зауваження не мають принципового характеру і загалом не впливають на загальну позитивну оцінку дисертації, не знижують цінності та достовірності основних науково-практичних результатів, висновків і рекомендацій.

### Загальний висновок

Дисертаційна робота Шамаханова В. К. є завершеним самостійним науковим дослідженням, що характеризується актуальністю, високим науковим рівнем, новизною результатів та їх прикладною цінністю. Вважаю, що здобувач Шамаханов В. К. у процесі виконання дисертаційної роботи повністю оволодів методологією наукових досліджень та особисто отримав вагомі наукові результати. Дисертація Шамаханова Владислава Костянтиновича «Моделі та методи для аналізу динаміки та керування розгортанням космічного радара на базі офсетної антени» є закінченою науковою працею, яка відповідає всім вимогам 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 (зі змінами), а її автор заслуговує на присудження ступеня доктора філософії за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології».

Офіційний опонент:

доктор технічних наук,

професор кафедри

«Інформаційні технології електронних засобів»

Національного університету

«Запорізька політехніка»



Микола ЄФИМЕНКО

Підпис Єфименко засвідчую:

Учений секретар вченої ради

НУ «Запорізька політехніка»



Віктор КУЗЬМІН