

## **РЕЦЕНЗІЯ**

на дисертаційну роботу

**Шамаханова Владислава Костянтиновича**

на тему **«Моделі та методи для аналізу динаміки та керування**

**розгортанням космічного радару на базі офсетної антени»,**

яка представлена на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

**Актуальність теми дисертації.** Дисертація присвячена розробленню моделей та методів для аналізу динаміки та керування розгортанням космічного радару з синтезованою апертурою, який включає рефлекторну антену та штангу, що трансформуються. У дисертаційному дослідженні проведено аналіз особливостей космічних конструкцій, що трансформуються, методів динамічного моделювання, а також проблем, пов'язані з точністю прогнозування поведінки великих сітчастих антен у процесі їх розгортання. Підвищення надійності й точності роботи таких систем є вкрай важливим для сучасних космічних місій, особливо у сегменті малих супутників, де критичними є обмеження їх маси та об'єму. У роботі обґрунтовано доцільність використання математичного й комп'ютерного моделювання, а також сучасних методів керування, включаючи інтелектуальні алгоритми на базі навчання з підкріпленням. Актуальність теми підтверджується потребою у створенні ефективних методів прогнозування динаміки та зменшення ризиків відмов під час розгортання просторово-розвинутих конструкцій на орбіті. Враховуючи складність натурних випробувань і високу вартість експериментів, обрана тематика є своєчасною та має беззаперечну практичну значущість.

**Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків та рекомендацій, їх достовірність**

Аналіз змісту дисертації та автореферату показує, що основні наукові положення та висновки, зроблені в роботі, є обґрунтованими і логічно впливають з отриманих автором наукових результатів. Вони досягнуті завдяки вдалому поєднанню класичних методів теоретичної механіки та керування, а

також сучасних методів ком'ютерного моделювання та машинного навчання, а також базуються на достатній кількості чисельних експериментів та відомих наукових фактах.

Достовірність отриманих результатів і висновків підтверджується коректним застосуванням фундаментальних наукових положень, ретельністю математичних викладок, узгодженістю теоретичних висновків з числовими даними та результатами моделювання. Важливо відзначити, що основні наукові результати дисертації апробовані на міжнародних та всеукраїнських конференціях і достатньо повно представлені в наукових публікаціях у фахових виданнях. Таким чином, можна стверджувати, що ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертації, та їх достовірність не викликають сумнівів.

**Наукова новизна отриманих автором результатів.** До основних наукових результатів, отриманих автором належать:

- вперше отримано закони керування розгортанням офсетної антени при асинхронній намотці силових тросів.
- вперше отримано алгоритми керування розгортанням стрижневих конструкцій космічного призначення, що ґрунтуються базі навчання з підкріпленням .
- вдосконалено моделі динаміки офсетної антени у частині визначення рушійних сил як функцій швидкості руху тросу системи розгортання та врахування властивостей металевого полотна, що відбиває.
- вдосконалено спосіб відцентрового розкриття багатосекційної штанги у частині застосування швидких просторових обертань супутника.

Сукупність отриманих результатів дозволяє вважати, що дисертація робить суттєвий внесок у розвиток методів синтезу керування та динамічного аналізу для космічних систем, які розгортаються.

**Публікації та апробація результатів.** На основі матеріалів дисертації було опубліковано 12 наукових праць, зокрема 5 статей у фахових виданнях України категорії Б, 1 стаття у журналі, що входить до міжнародних наукометричних баз Scopus та Web of Science, 6 тез доповідей на конференціях.

Основні положення дисертації викладено в перелічених вище працях, які задовольняють вимогам щодо кількості та якості публікацій.

**Практичне значення одержаних результатів.** Розроблені моделі та методи можуть бути використані при проєктуванні антен і механізмів розгортання космічного застосування. Використання навчання з підкріпленням відкриває можливості для створення адаптивних систем керування з підвищеною надійністю в умовах невизначеності. Запропоновані підходи дозволяють знизити ризики відмов, оптимізувати масово-габаритні характеристики конструкцій і скоротити потребу в натурних експериментах.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертаційна робота викладена на 186 сторінках машинописного тексту, складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, переліку використаних джерел та додатків. Робота ілюстрована рисунками та таблицями. Список використаних джерел складається з 172 найменувань.

У *вступі* обґрунтовано актуальність теми, поставлена мета та завдання роботи, наведено наукову новизну, практичне значення, особистий внесок дисертанта та апробація роботи.

У *першому розділі* автором розглянуто літературні джерела щодо особливостей створення та моделювання динаміки космічних конструкцій, що трансформуються. Визначено актуальність теми дослідження роботи, розглянуто існуючі технології та рішення для створення просторово-розвинутих конструкцій космічного застосування. Проаналізовано ключові підходи до динамічного моделювання, а також проблеми, пов'язані з точністю прогнозування поведінки великих сітчастих антен у процесі розгортання. Обґрунтовано вибір моделей та методів для подальшого дослідження.

У *другому розділі* автором розроблено математичну модель динаміки офсетної антени, що враховує особливості конструкції опорного кільця, підтримуючої системи сіток та полотна, що відбиває, а також тросової системи приводу розгортання. Проаналізовано вплив на процес розгортання таких факторів, як маса сіток, властивості шарнірів, момент інерції антени, тощо. Проведено моделювання та аналіз розподілу зусиль і переміщень при

асинхронному розгортанні антени, а також досліджено вплив геометричних і силових параметрів на точність і надійність системи.

У *третьому розділі* продемонстровано можливість використання методології навчання з підкріпленням для подолання низки складнощів, притаманних традиційним підходам при керуванні розгортанням стрижневих конструкцій, що трансформуються. Зокрема, надало можливість оптимізувати систему розгортання з використанням моделей, отриманих за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення для моделювання динаміки систем зв'язаних тіл, враховуючи необхідні критерії та обмеження. Особливості використання такого підходу для керування розгортанням стрижневих конструкцій досліджено з використанням спрощеної моделі однієї секції сітчастої антени, що трансформується. Розглянуто різні випадки, що відрізняються функціями вартості, функціями активації виконавця, параметрами тертя в шарнірах.

У *четвертому розділі* розглянуто задачу моделювання процесів відцентрового розкриття трисекційної штанги та проведено аналіз доцільності використання такого способу розгортання для міні-супутника дистанційного зондування Землі. Для моделювання процесів розкриття штанги супутник представлений у вигляді системи зв'язаних тіл, де платформа та складена антенна є абсолютно жорсткими тілами, а штанга складається з трьох пружних стрижнів трубчастого перерізу. Диференціальні рівняння динаміки супутника при розкритті штанги отримані за допомогою лагранжевого формалізму, які доповнені алгебраїчними рівняннями, що описують обмеження з боку шарнірів. Розглянуто різні сценарії розгортання штанги для яких виконано моделювання та отримано оцінки необхідних керуючих впливів для забезпечення розкриття штанги та стабілізації супутника після фіксації шарнірів.

**Дотримання вимог академічної доброчесності.** У процесі аналізу дисертаційної роботи не було виявлено жодних випадків академічного плагіату чи інших порушень. Застосування системи StrikePlagiarism для перевірки тексту дисертації дозволило об'єктивно підтвердити відсутність плагіату та гарантувати оригінальність представлених результатів. Використання автором

перевірених і надійних джерел інформації, а також чітке цитування і посилання на роботи інших дослідників підкреслюють відповідальний підхід до дослідницької діяльності.

### **Окремі дискусійні питання і зауваження.**

1. У загальному рівняння динаміки (2.16) матриця мас позначена як залежна від часу і узагальнених координат, але відомо, що застосування методу абсолютних вузлових координат призводить до рівнянь з постійною матрицею мас системи.

2. При моделюванні шарнірних з'єднань не розглянуто їх можливий люфт.

3. В підрозділі 3.3 бракує детального опису розглянутих функцій вартостей та пояснень чому вони суттєво відрізняються від традиційних квадратичних критеріїв, що застосовуються для оцінки якості керування.

4. В дисертації відсутній перелік скорочень, що ускладнює сприйняття результатів роботи.

Зазначені зауваження не впливають на загальний рівень поданої дисертаційної роботи. Автором досягнуто результатів, які мають наукову цінність, що дозволяє оцінити дисертацію як цілісне, завершене та актуальне наукове дослідження.

### **Загальний висновок**

Дисертаційна робота Шамаханова Владислава Костянтиновича на тему «Моделі та методи для аналізу динаміки та керування розгортанням космічного радару на базі офсетної антени» є актуальною за змістом, містить наукову новизну, основні результати та висновки дисертації обґрунтовані, мають теоретичне та практичне значення. Рецензована дисертаційна робота є заведеною науковою працею. Оформлення дисертації відповідає чинним вимогам. Методичний рівень, наукова новизна і практичне значення, рівень оприлюднення результатів рецензованої роботи відповідає вимогам до дисертацій ступеня доктора філософії згідно з вимогами Постанови Кабінету

Міністрів України від 12 січня 2022 року № 44 (зі змінами) «Про затвердження порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», а здобувач Шамаханов Владислав Костянтинович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 15 Автоматизація та приладобудування за спеціальністю 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології.

### Офіційний рецензент

Кандидат технічних наук,  
старший науковий співробітник  
відділу системного аналізу та  
проблем керування Інституту  
технічної механіки НАНУ і ДКАУ



Оксана ВОЛОШЕНЮК

Підпис ВОЛОШЕНЮК О.Л.

Завіряю 23 вересня 2025 р.

Учений секретар ІТМ НАНУ і ДКАУ  
кандидат технічних наук,  
старший науковий співробітник



Людмила ЛАПІНА