

ВІДГУК

офіційного опонента

на дисертаційну роботу Пастернака Юрія Володимировича на тему:

“Синтез систем керування антенними комплексами на основі паралельного кінематичного механізму наведення із статично невизначеними зв’язками”

представлену на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.05 – комп’ютерні системи та компоненти

Актуальність теми дослідження

Розвиток інформаційних технологій космічної діяльності в Україні та світі є пріоритетним напрямком досліджень, які пов’язані із дистанційним зондуванням Землі. Даний метод полягає у вивченні земної поверхні та її надр в основі якого є безконтактна реєстрація електромагнітного випромінювання земної поверхні в різних діапазонах спектру.

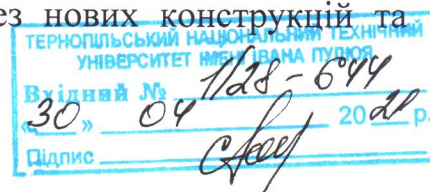
Важливу роль відведено опорно-поворотному пристрою антенної системи для забезпечення наведення та супроводу низькоорбітальних космічних апаратів дистанційного зондування Землі з метою отримання і опрацювання великих потоків інформації. Основним призначенням опорно-поворотного пристрою є: забезпечення значного динамічного діапазону швидкостей наведення та супроводу великогабаритних рефлекторів антенних систем з діаметром дзеркала до 12 м, та кутовою швидкістю до 15 °/с у поєднанні із високою точністю наведення – до одиниць кутових хвилин.

Відомі на сьогоднішній день конструкції опорно-поворотних платформ базуються на різновидах редукторних обертових механізмів, які володіють рядом недоліків: високі вимоги до точності виготовлення обертових механізмів великого діаметру, збільшення маси, складності виготовлення і складання окремих вузлів, збільшення потужності електроприводів та ускладнення систем керування, зростання вартості. На даний час на території України функціонує лише декілька робочих антенних станцій, що в змозі отримувати інформацію із супутників дистанційного зондування Землі.

Тому для забезпечення технічного розвитку, а також обороноздатності країни на належному рівні, **актуальним** завданням є створення нових, сучасних антенних комплексів та систем керування ними.

Зв’язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Наукові дослідження при вирішенні наукового завдання виконано на базі більш ніж семи різних науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт у Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя, зокрема: «Розробка та дослідження нових поворотних платформ антенних станцій та систем керування для дистанційного зондування Землі», державний реєстраційний №0113U000257, 2013-2014рр.; «Синтез нових конструкцій та



засобів керування антенними станціями зв'язку з низькоорбітальними супутниками дистанційного зондування Землі», державний реєстраційний №0116U004743, 2016-2017рр.; «Модернізація системи керування наземної станції прийому інформації ДЗЗ «ПС-8,2», державний реєстраційний №0115U005613, 2015р.; «Розроблення перспективної космічної техніки. Модернізація системи управління УНСП», державний реєстраційний №0116u007364, 2016 р.; «Розроблення та виготовлення ракетно-космічної техніки. Розробка автоматизованої системи керування радіотелескопу РТ-32М4В», 2018р., договір з ПрАТ НВП «Сатурн»; «Удосконалення наземного комплексу спостереження за космічними об'єктами. Модернізація програмно-технічних засобів КОС «Сажень-С». Модернізація автоматизованої системи управління телескопу АЗТ-28», державний реєстраційний №0118u00240, 2019р.; та інші.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків та рекомендацій, сформульованих у дисертації, їхня достовірність

Наведені в дисертаційній роботі наукові припущення, висновки та рекомендації коректні, стосуються конкретного наукового завдання та методів його дослідження, розв'язання поставлених завдань та проведення експериментальних досліджень. Теоретичні результати узгоджуються з отриманими практичними даними.

Автором отримано кількісні показники достовірності результатів проведення експериментальних досліджень та теоретичних даних.

Наукові результати підтверджено апробацією на наукових конференціях та семінарах, а наведені в дисертації результати отримано автором при виконанні багатьох науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт і підтверджуються практичною реалізацією.

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження

Автором отримано такі наукові результати:

1. Вперше розроблено імітаційну модель антенної системи на основі опорно-поворотної платформи Г'ю-Стюарта, яка за рахунок врахування особливостей руху лінійних приводів кінематичного механізму Нехарод забезпечує підвищення точності наведення на координати низькоорбітальних космічних об'єктів, та супроводу траєкторій низькоорбітальних супутників;

2. Вперше розроблено метод керування, який враховує вплив конструктивних особливостей просторового механізму – системи лінійних кінематичних ланок із статично невизначеними зв'язками на точність наведення променя рефлектора великогабаритної антени, що дає змогу підвищити точність наведення та зменшити похибки супроводу траєкторій низькоорбітальних космічних об'єктів у розроблюваних системах керування;

3. Удосконалено метод управління антенною платформою на основі просторового механізму із системи лінійних кінематичних ланок за рахунок розпаралелення процесу керування окремими актуаторами, що зменшило складність алгоритму керування та забезпечило управління в режимі реального часу;

4. Удосконалено метод керування окремими актуаторами, який за рахунок розпаралелення та апаратної реалізації, з використанням ПЛІС, зменшує апаратну складність, кількість міжблочних інтерфейсних каналів зв'язку та забезпечує синхронне керування актуаторами в режимі реального часу.

Значущість отриманих результатів для науки і практики

Значним науковим результатом є створення програмно-апаратного комплексу керування наведенням антенної системи з опорно-поворотним пристроєм Нехарод. Розроблено алгоритм розрахунку видовження системи актуаторів та створено програму керування антенним комплексом для супроводу низькоорбітальних космічних апаратів. Розроблено програмно-апаратний комплекс, який здійснює синхронне керування системою лінійних приводів опорно-поворотного пристрою – Нехарод основою якого є мікроконтролер та програмована логічна інтегральна схема.

Отримані результати є практично придатними для використання при проектуванні систем керування антенними комплексами для супроводу супутників дистанційного зондування Землі на основі паралельного кінематичного механізму наведення із статично невизначеними зв'язками. Окремі результати дослідження використані в державному підприємстві «Науково-дослідний інститут комплексної автоматизації» м. Донецьк, Тернопільському державному науково-технічному підприємстві «ПРОМІНЬ», Товаристві з обмеженою відповідальністю «Техас-Т» м. Тернопіль, навчальному процесі кафедри приладів та контрольно-вимірювальних систем Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя про що свідчать відповідні акти впровадження.

Повнота викладення результатів у опублікованих матеріалах

За результатами дисертаційного дослідження опубліковано 22 наукові праці, серед яких 5 статей у фахових науково-технічних виданнях, 2 статті у закордонному науковому періодичному виданні держави-члена Європейського Союзу, 2 публікації проіндексовані міжнародною наукометричною базою Scopus, 1 стаття проіндексована міжнародною наукометричною базою Web of Science Core Collection, 1 стаття проіндексована міжнародною наукометричною базою Index Copernicus та 12 публікацій у матеріалах міжнародних та всеукраїнських наукових конференцій.

В опублікованих працях викладено основні отримані результати. Рівень та кількість публікацій відповідають вимогам, що ставляться до кандидатських дисертацій в Україні.

Структура та зміст дисертації

Дисертаційну роботу викладено на 187 сторінках. Робота складається із анотації, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел із 117 посилань та додатків.

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертації, відзначено зв'язок роботи з науковими темами, сформульовано тему і задачі дослідження, визначено об'єкт, предмет і методи дослідження, показано наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, наведено інформацію про апробацію та опублікування результатів дисертаційного дослідження, особистий внесок здобувача.

У **першому розділі** проаналізовано стан та тенденції розвитку систем керування антенними комплексами, зокрема акцентована увага на паралельних кінематичних механізмах наведення із статично невизначеними зв'язками.

Проведено огляд існуючих двовісних та тривісних опорно-поворотних пристроїв які широко застосовуються для задач ДЗЗ, приведено їх технічні характеристики, переваги та недоліки. Запропоновано використання платформи Г'ю-Стюарта в якості опорно-поворотного пристрою антенної системи що дозволяє отримати ряд суттєвих переваг. Здійснено огляд методів керування антенними комплексами, зокрема виділено: керування рухом в робочому просторі та керування рухом в просторі узагальненої координати. Вказано низку факторів, які ускладнюють керування механізмом із статично невизначеними зв'язками. Проаналізовано вплив елементів конструкції на процес побудови та керування антенного комплексу. Класифіковано параметри, які впливають на точність наведення дзеркала антени. Описано переваги та недоліки конструкції та систем керування. Описано способи калібрування АС на основі платформи Г'ю-Стюарта.

У **другому розділі** розроблено метод та детально описано алгоритм керування ОПП АС на основі паралельного кінематичного механізму наведення що забезпечує рішення оберненої задачі кінематики за допомогою афінних ізометричних перетворень. Приведений алгоритм перетворення координат КА, рух якого описується законами небесної механіки і задається параметрами орбіти, в локальні координати лінійних приводів із врахуванням типу використаної антенної підвіски і місця розташування АС на земній поверхні

У **третьому розділі** проаналізовано різні види просторових структур платформи Г'ю-Стюарта, обрано та обґрунтовано варіант геометричного компонування структури для подальшого його використання в якості опорно-поворотного пристрою антенної системи. За допомогою САПР Solidworks та MatLab розроблено відповідні імітаційні моделі ОПП та системи керування ним. Проведено ряд досліджень, зокрема – вплив точності позиціонування актуатора на точність наведення дзеркала антени.

У **четвертому розділі** розроблено апаратне та програмне забезпечення що входить до складу системи керування опорно-поворотним пристроєм на основі механізму паралельної кінематичної структури. На основі сучасної елементної бази (мікроконтролера та програмованої логічної інтегральної

схеми) розроблено та виготовлено блок керування що забезпечує роботу в режимі реального часу, обґрунтовано його схемотехнічні та конструкторські рішення. Розроблене спеціальне програмне забезпечення із графічним інтерфейсом користувача що дозволяє керувати опорно-поворотним пристроєм паралельної структури, та у графічному вигляді відображає точність супроводу траєкторії. Отримано результати експериментальних досліджень роботи макету платформи Г'ю-Стюарта.

Автореферат в загальному відповідає змісту та основним положенням дисертаційної роботи та відображає основні наукові результати, практичну значущість та висновки.

Дисертаційна робота та автореферат оформлені у відповідності з вимогами, що ставляться до кандидатських дисертацій в Україні.

Зауваження до дисертації

До зауважень щодо матеріалів дисертаційної роботи та автореферату можна віднести наступні:

1. У дисертаційному дослідженні згадується чисельний метод Рунге–Кутта, хоча автор вказує метод Рунге-Кутти.
2. В методах немає потреби розділяти методи алгебри і теорії матриць.
3. В багатьох формулах ((1.1)-(1.6), (2.5), другий рядок на стор. 65) немає пояснення всіх змінних.
4. Стор. 48 - доцільно навести приклад трьох нелінійних рівнянь прямої кінематичної задачі.
5. Стор. 54 - опис типу різьби наводити недоцільно, оскільки воно в подальшому в дисертаційній роботі не використовується.
6. У формулі (2.1) не зрозуміло, де векторна величина, а де скалярна.
7. Рисунок 2.9 - це не траєкторія. Визначення траєкторії з фізики - це лінія, по якій рухається тіло.

Вказані недоліки та зауваження не знижують наукової та практичної цінності роботи і не впливають на її загальну позитивну оцінку.

Загальна оцінка роботи і висновки

Дисертаційна робота Пастернака Ю.В. на тему “Синтез систем керування антенними комплексами на основі паралельного кінематичного механізму наведення із статично невизначеними зв'язками”, є завершеною працею, в якій отримані нові теоретичні обґрунтовані результати, які в сукупності вирішують актуальну наукову задачу що полягає у підвищенні точності наведення антен шляхом використання паралельного кінематичного механізму наведення із статично невизначеними зв'язками, розробленням відповідних імітаційних моделей та методу управління.

Дисертація написана сучасною науково-технічною мовою, послідовно, логічно і грамотно. Стиль викладення матеріалу забезпечує доступність його сприйняття. Робота виконана здобувачем самостійно. Ознаки академічного плагіату відсутні.

Автореферат дисертації достатньо повно розкриває її зміст.

Опубліковані Пастернаком Ю.В. наукові праці за темою дослідження повністю відображають основні положення дисертації.

Дисертаційна робота містить нові науково-обґрунтовані результати і цілком відповідає вимогам паспорту спеціальності 05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти.

За актуальністю теми, теоретичною цінністю та практичною значимістю отриманих результатів дисертаційна робота відповідає вимогам, які ставляться до робіт на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук, зокрема (п. 9, 11, 12 щодо кандидатських дисертацій) “Порядку присудження наукових ступенів” затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013р. № 567 (зі змінами), а її автор, Пастернак Юрій Володимирович, заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти.

Офіційний опонент:

доцент кафедри кібербезпеки
Західноукраїнського національного
університету, к.т.н., доц.

Ігор ЯКИМЕНКО

Підпис Якименко І.З. засвідчую.

Вчений секретар
Західноукраїнського національного
університету
канд. психол. наук, доцент



Марія МУДРАК