В І Д Г У К

офіційного опонента на дисертаційну роботу **Пастернака Юрія Володимировича "Синтез систем керування антенними комплексами на основі паралельного кінематичного механізму наведення із статично невизначеними зв'язками"**, подану на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти

Актуальність теми дисертації. Дисертаційна робота присвячена одній з важливих і актуальних задач - розроблення імітаційних моделей та методу управління наведенням системи керування антени на основі опорно-поворотної платформи з паралельним кінематичним механізмом наведення для підвищення точності наведення антенних систем.

Розвиток технологій дистанційного зондування Землі, систем зв'язку за допомогою низькоорбітальних космічних апаратів має особливо важливе значення для безпекового сектору країни, вирішення багатьох народно-господарських задач. Для ефективного використання технологій дистанційного зондування Землі необхідний розвиток наземних технічних засобів забезпечення зв'язку з низькоорбітальними супутниками для прийому супутникової інформації, або керування супутником.

Особливостями конструкцій поворотних пристроїв антенних систем, призначених для прийому інформації дистанційного зондування Землі є високі вимоги до динамічних характеристик опорно-поворотних пристроїв антенної системи, які повинні забезпечити високу точність наведення і супроводу космічних апаратів шляхом позиціонування і утримання променя великогабаритного рефлектора антенної системи в напрямі низькоорбітального космічного апарату з високою точністю.

Тому тема дисертаційної роботи Пастернака Юрія Володимировича "Синтез систем керування антенними комплексами на основі паралельного кінематичного механізму наведення із статично невизначеними зв'язками" є актуальною та відповідає практичним вимогам сьогодення.

Зв'язок роботи з науковими програмами, темами, планами. Дисертаційна робота виконана згідно з тематикою наукових досліджень Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя. Результати дисертаційних досліджень використано під час виконання науково-дослідних (НДР) та дослідно-конструкторських робіт (ДКР) за темами: НДР (ДІ206-13) «Розробка та дослідження нових поворотних платформ антенних станцій та систем керування для дистанційного зондування Землі» (№ держреєстрації 0113U000257, 2013-2014р.); НДР (ДІ 226-16) «Синтез нових конструкцій та засобів керування антенними станціями зв'язку з низькоорбітальними супутниками дистанційного зондування Землі» (№ держ. реєстрації 0116U004743, 2016-2017р.); ДКР (г/д № 382-15) «Модернізація

ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ
Вхідний № 1128-643
«30» 04 2021 р.
Підпис

системи керування наземної станції прийому інформації ДЗЗ «ПС-8,2», (№ держреєстрації 0115U005613, 2015р., ДНДП «Конекс»); ДКР (г/д № 406-16) «Розроблення перспективної космічної техніки. Модернізація системи управління УНСПІ» шифр «Управління», № держреєстрації 0116u007364, 2016 р., договір з Національним центром управління і випробування космічних засобів (НЦУВКЗ); ДКР (г/д № 464-18) «Удосконалення наземного інформаційного комплексу. Модернізація пункту прийому інформації ППІ-1.7Д», держреєстр. № 0118u004721, 2018 р., НЦУВКЗ); ДКР (г/д № 468-18) «Розроблення та виготовлення ракетно-космічної техніки. Розробка автоматизованої системи керування радіотелескопу РТ-32М4В», шифр «Керування-МАРК-4В», 2018р., договір з ПрАТ НВП «Сатурн»; ДКР (г/д № 475-19) «Удосконалення наземного комплексу спостереження за космічними об'єктами. Модернізація програмно-технічних засобів КОС «Сажень-С». Модернізація автоматизованої системи управління телескопу АЗТ-28», держреєстр. № 0118u00240, 2019р., дог. з НЦУВКЗ; НДР (г/д № 485-20) «Науково-технічне обґрунтування напрямів створення автоматизованої системи управління мережею оптичних засобів спостереження за навколоземним космічним простором», шифр «Управління-ОЗС», держреєстр. № 0120U102508, 2020р., дог. з НЦУВКЗ.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації. Основні результати дослідження були отримані із застосуванням методів алгебри, аналітичної та афінної геометрії, теорії матриць, теорії похибок, теорія автоматичного керування, математичного та фізичного моделювання, та експериментальних досліджень. Наукові положення та висновки, що містяться в дисертаційній роботі, є теоретично обґрунтованими і підтверджуються практичною реалізацією під час виконання науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт, апробацією на наукових міжнародних конференціях і наукових семінарах кафедри. Адекватність розроблених методів і алгоритмів підтверджується результатами моделювання, експериментальних досліджень і експлуатації апаратури.

Наукова новизна отриманих результатів. До основних наукових результатів, одержаних здобувачем особисто, належить:

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 Hexapod 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 апаратної реалізації, з використанням ПЛІС, зменшує апаратну складність, кількість міжблочних інтерфейсних каналів зв'язку та забезпечує синхронне керування актуаторами в режимі реального часу.

Наукові положення, сформульовані в дисертації, досить повно обґрунтовані. Кожен пункт наукової новизни достатньою мірою підтверджений теоретичними, а також експериментальними дослідженнями.

Практичні результати роботи, їх рівень та ступінь впровадження. Практичне значення отриманих полягає в тому, що їх використання при створенні програмно-апаратного комплексу керування антенною системою з опорно-поворотним пристроєм забезпечило підвищення точності наведення та роботу в режимі реального часу.

Результати дисертаційної роботи впроваджені у таких установах:

- державному підприємстві «Науково-дослідний інститут комплексної автоматизації» м. Донецьк, (акт впровадження від 20.08.2013 р.);
- Тернопільському державному науково-технічному підприємстві «ПРОМІНЬ» (акт впровадження від 05.07.2015 р.);
- товаристві з обмеженою відповідальністю «Техас-Т», м. Тернопіль (акт впровадження від 03.07.2020 р.);
- науково-дослідній частині (НДЧ) та на кафедрі приладів та контрольно-вимірювальних систем Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя (акт впровадження від 04.01.2021 р.).

Повнота викладення результатів досліджень в опублікованих працях. Основні положення дисертації опубліковані у опубліковано 22 наукових працях, 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.

Кількість публікацій та апробації матеріалів дисертації розкривають основний зміст дисертації та повністю відповідають вимогам МОН України.

Оцінка основного змісту дисертації та її структури. Дисертаційна робота складається із вступу, чотирьох розділів основної частини, висновку, списку використаних джерел із 117 найменувань і додатків. Загальний обсяг дисертації складає 187 сторінок, з яких основний зміст викладений на 108-и сторінках, містить 46 рисунків та 11 таблиць

У ***вступі*** обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету і завдання досліджень, викладено наукову новизну та практичне значення результатів роботи, особистий внесок здобувача, наведені дані щодо апробації результатів досліджень.

В ***першому розділі*** дисертації проаналізовано сучасний стан та тенденції розвитку антенних систем на базі платформи Г'ю-Стюарта. Проведено огляд основних типів опорно-поворотних пристроїв антенних систем для задач дистанційного зондування Землі на основі діючих станцій прийому інформації, визначено їх переваги та недоліки. Вибрано опорно-поворотній пристрій на основі платформи Г'ю-Стюарта для наведення дзеркала антени на космічні апарати. Розглянуто методи керування антенними комплексами, зокрема виділено: керування рухом в робочому просторі та керування рухом в просторі узагальненої координати. Визначено фактори, які ускладнюють керування паралельним 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. Проаналізовано способи калібрування антенної системи на основі платформи Г'ю-Стюарта.

На основі проведеного аналізу визначено задачі дослідження.

У ***другому розділі*** вдосконалено метод керування наведенням антени на основі систем із статично невизначеними зв'язками. За використанням афінних ізометричних перетворень визначено поворот верхньої площини у просторі на заданий кут, що рівний куту місця опорно-поворотного пристрою. Удосконалено метод розрахунку видовження актуаторів за допомогою афінних перетворень. Розроблено алгоритм керування антенною системою, який використаний при розробці програми для моделювання роботи антени з поворотним пристроєм Hexapod. Для визначення характеристики керуючих дій в антенній системі запропоновано використовувати моделі кінематики супроводу космічних апаратів.

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.

У ***третьому розділі*** вибрано просторову структуру опорно-поворотного пристрою на основі платформи Г'ю-Стюарта. Розроблено імітаційну модель системи управління та 3D модель гексапода, яка забезпечила проведення дослідження основних переміщень гексапода. Отримано результати дослідження 3D моделі, які використано при конструюванні відповідних вузлів гексапода.

Створено динамічну модель платформи Г'ю-Стюарта, яка використовує вбудовану бібліотеку SimMechanics в системі Matlab Simulink і тривимірну модель, що реалізована в CAD Solidworks.

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

У ***четвертому розділі*** з використанням розроблених методів розроблено програмно-апаратні засоби системи керування та моніторингу опорно-поворотним пристроєм. З використанням мікроконтролера C8051F040 та програмованої логічної інтегральної схеми XC3S500E розроблений блок керування опорно-поворотним пристроєм на основі паралельного кінематичного механізму, який забезпечує роботу у реальному часі.

Розроблено спеціалізоване програмне забезпечення та графічний інтерфейс користувача для побудувати необхідних траєкторій руху із можливістю відображення точності її відпрацювання.

У ***висновках*** наведено основні результати дисертаційної роботи та надано рекомендації щодо практичного застосування теоретичних напрацювань. Загальні висновки по роботі відрізняються чіткістю, лаконічністю, узагальнюють викладені в роботі результати досліджень.

Список використаних джерел є достатнім, охоплює сучасні вітчизняні та зарубіжні публікації, містить 117 найменувань.

В ***додатках*** представлені список публікацій здобувача за темою дисертації, акти впровадження результатів дисертаційної роботи, електричні принципові схеми та фрагменти програмного коду розробленої системи керування опорно-поворотним пристроєм антенної системи на основі паралельного кінематичного механізму наведення.

Відповідність дисертації та автореферату встановленим вимогам. За своєю структурою, обсягом і оформленням дисертація та автореферат цілком відповідають вимогам, встановленим до кандидатських дисертацій, зокрема пп. 9, 11, 12, 13, 14 чинного «Порядку присудження наукових ступенів».

Автореферат за змістом ідентичний основним положенням, що викладені в дисертації, та не містить інформації, яка не відображена в самій роботі. Стиль викладу матеріалів досліджень, наукових положень і рекомендацій забезпечує їх адекватне і належне сприйняття.

Кандидатська дисертаційна робота відповідає профілю спеціалізованої вченої ради К58.052.06 та паспорту спеціальності 05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти, зокрема за такими напрямами досліджень:

- теоретичні основи створення та вдосконалення високоефективних технічних і програмних компонентів комп'ютерних систем і мереж загального та спеціального призначення, розподілених систем та їх компонентів відповідно до різних ієрархічних рівнів їх організації й умов експлуатації;
- дослідження та розроблення нових високоефективних архітектур комп'ютерних систем і мереж загального та спеціального призначення,

топологічної організації розподілених систем і комунікаційних технологій в них.

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.

До недоліків роботи, на мою думку, слід віднести:

1. У першому розділі не повністю сформовані задачі дисертаційного дослідження, не достатньо проаналізовано існуючі комп'ютеризовані системи керування антенними комплексами та елементна база для їх реалізації.

2. Автор стверджує (с. 61), що існує обмежена кількість положень опорно-поворотного пристрою, які є оптимальними для досягнення спрямованості променя антени на заданий космічний апарат, але не пояснює яким чином визначається кількість та якість оптимального положення.

3. У дисертації на с. 67 стверджується, що алгоритм множення будь-якої точки тривимірного простору на отриману комплексну матрицю є вкрай ефективним і в десятки а то й сотні разів швидше в порівнянні із звичайним покроковим обрахунком, проте в роботі не показано за рахунок чого досягається така швидкодія та не розкрито суть покрокового обрахунку.

4. У третьому розділі доцільно було б навести блок-схему алгоритму роботи програми моделювання роботи антени з поворотним пристроєм Hexapod з відображенням тривимірної моделі антенної системи.

5. У розділі 4.1 "Архітектура комп'ютерної системи для керування ОПП" не наведено структуру комп'ютерної системи для керування опорно-поворотним пристроєм.

6. Не розкрито структуру вузлів системи керування (рис.4.2) та не проведено оцінювання апаратних затрат на їх реалізацію на базі ПЛІС.

7. В розділі 4.5 вказано, що згідно експериментальних даних помилка відслідковування в середньому не перевищувала 2-3 дискрети вбудованого давача переміщень, що становить 0,05°. Автором не зазначається залежність між дискретами вбудованого давача переміщення і кінцевим значенням помилки.

8. У загальних висновках автор стверджує що запропонована конструкція та метод керування опорно-поворотним пристроєм дозволяє здешевити антенні системи в цілому. Потрібно було б навести конкретні значення зменшення вартості.

9. При викладенні матеріалу зустрічаються понятійні, стилістичні та термінологічні неточності, а також граматичні та орфографічні помилки, на які вказано автору.

Відмічені зауваження не вплинули на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи та можуть розглядатися як рекомендації до подальших наукових досліджень та впроваджень отриманих результатів.

ВИСНОВКИ

1. Дисертаційна робота **Пастернака Юрія Володимировича** на тему: "Синтез систем керування антенними комплексами на основі паралельного кінематичного механізму наведення із статично невизначеними зв'язками" є завершеною науковою працею, яка розв'язує актуальну наукову задачу підвищення точності наведення антенних систем.

2. Робота здобувачем виконана самостійно, ознаки академічного плагіату відсутні, автореферат оформлений згідно з вимогами, повністю відповідає змісту дисертації та описує суть одержаних результатів і висновків у дисертаційній роботі.

3. Дисертаційна робота повністю відповідає паспорту спеціальності 05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти і чинним вимогам до дисертацій на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук, які містяться у .пп. 9, 11, 12, 13, 14 чинного "Порядку присудження наукових ступенів" затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013р. №567 (зі змінами, внесеними згідно Постанови Кабінету Міністрів України №656 від 19.08.2015р., №1159 від 30.12.2015р., №567 від 27.07.2016р., №943 від 20.11.2019р.).

4. Автор дисертації **Пастернак Юрій Володимирович** заслуговує на присудження йому наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти.

Офіційний опонент,
професор кафедри автоматизованих систем управління
Національного університету
«Львівська політехніка»,
д.т.н., професор **/ Цмоць І.Г. /**

Підпис проф. Цмоця І.Г. засвідчую:

Вчений секретар

Національного університету

«Львівська політехніка», к.т.н., доцент **Брилинський Р. Б.**