

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Гуменного Дмитра Олександровича «Автоматизація процесу керування усталеним рухом антропоморфного крокуючого апарата», подану до захисту на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.07 – «Автоматизація процесів керування»

Актуальність теми дисертації

Актуальність теми дисертації не викликає сумнівів. Управління антропоморфним крокуючим АКА під час його руху на довільній опорній поверхні може супроводжуватися втратою усталеності його руху, що виникає в результаті взаємодії стопи АКА з рельєфом опорної поверхні внаслідок дії сили тяжіння та інерції. У таких умовах в більшості практичних випадків застосовуються методи управління положенням АКА за даними про відхилення його точки центру мас від заданої позиції. Проте використання методів моніторингу відхилення положення точки центру мас ґрунтується на інерційних властивостях ланок апарата і супроводжується виникненням математичного запізнювання управління усталеним рухом АКА. У деяких умовах математичне запізнювання управління АКА призводить до втрати стійкості і його падіння.

Відповідно, актуальним і необхідним для управління АКА є розробка ефективних систем управління їх усталеним рухом на довільній опорній поверхні, що гарантують усталеність руху АКА і задану якість регулювання положення його ланок, незалежно від зовнішніх збурень і зміни параметрів об'єкта управління.

Актуальність теми даної дисертації, крім того, підтверджується тим, що результати досліджень стали складовою частиною науково-дослідних робіт, виконаних на кафедрі технічної кібернетики Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут» в рамках НДР відповідно до Державного замовлення на науково-технічну продукцію: «Методологія побудови інформаційних системи з інтелектуальною підтримкою прийняття рішень» (номер держреєстрації 0111U002510), «Подвійний магістерський диплом по автоматизації / механотроніці країн ЄС – країн партнерів» (номер держреєстрації 17138-TEMPUS-1-2011-1-CZ-TEMP-JPCR), в яких автор брав участь як виконавець.

Структура роботи, оцінка змісту й оформлення дисертації.

Дисертація містить всі необхідні структурні частини – вступ, чотири розділи з висновками в кінці кожного розділу, загальні висновки, список використаних джерел (184 найменувань) та 4 додатки, що містять допоміжні матеріали та акти впровадження результатів роботи. Загальний обсяг роботи

235 сторінок, з яких основна частина роботи займає 195 сторінок, в тому числі 56 рисунків.

У **вступі** переконливо обґрунтована актуальність дисертаційної роботи, визначені найзначніші наукові школи, які займалися розв'язанням задач управління крокуючими апаратами, сформульовано мету та завдання роботи, визначено новизну, описано теоретичну і практичну цінність отриманих наукових результатів, показано апробацію роботи.

У **першому розділі** проаналізовані підходи до моделювання АКА, що характеризуються складною структурою та описуються як об'єкти динаміки твердого тіла. Визначені біологічні засади антропоморфного руху. Значну частину розділу займає аналіз методів управління АКА, зокрема для дотримання їх усталеного руху. У результаті аналізу показано, що управління усталеним рухом АКА на довільній опорній поверхні характеризується високим рівнем невизначеності і складності. Також у результаті аналізу існуючих способів управління усталеним рухом дисертантом показано, що управління за даними про відхилення точки центру мас АКА характеризується великим математичних запізненням, а метод нульового моменту передбачає рух АКА на рівній або відомій опорній поверхні. Використання даних методів для довільної опорної поверхні не забезпечує дотримання достатнього запасу стійкості й комфортності руху апарата. Проаналізувавши відомі способи управління подібними об'єктами, дисертант дійшов висновку про доцільність застосування даних про розподіл сил реакції опорної поверхні для визначення запасу стійкості АКА на довільній опорній поверхні. Застосування цих даних, разом з характеристиками кінематичної структури і динамічної поведінки АКА, дають можливість визначити оптимальне положення АКА на опорній поверхні та забезпечити найбільший запас його стійкості. В кінці розділу сформульовані мета і основні завдання, які необхідно виконати для її досягнення.

Другий розділ присвячений дослідженню кінематичних та динамічних властивостей АКА. У розділі описаний синтез аналітичних і комп'ютерних моделей апарата. Засобами моделювання встановлений взаємозв'язок між положенням точки центру мас, її проекцією та розподілом сил реакції опорної поверхні. Отримані моделі поведінки АКА під час дотримання і втрати ним усталеного руху. У розділі показані динамічні залежності переміщення точки центру мас від перерозподілу моментів між стопою АКА і дотичною опорною поверхнею. Також встановлені характеристичні параметри АКА і визначені складові його вектору стану.

У **третьому розділі** дисертантом формалізована математична залежність між дотриманням усталеності руху АКА і розподілом сил реакції опорної поверхні. Описані рівняння перерахунку положення точки центру мас ланок АКА від розташування його точки проекції центру мас і від розподілу сили реакції опорної поверхні. За допомогою методів лінійного програмування визначені допустимі границі розташування точки проекції центру мас, при яких АКА залишатиметься стійким. Базуючись на методах множників Лагранжа і описі апарата методами Ньютона-Ейлера і рівнянь Лагранжа, описане

оптимальне положення ланок АКА, при яких він зберігатиме найбільший запас стійкості на довільній опорній поверхні. Ґрунтуючись на порівнянні поточного й оптимального усталеного положення АКА, дисертантом запропоновано стратегію відновлення і дотримання усталеного руху АКА, при якій він матиме найбільший запас стійкості. Базуючись на запропонованій стратегії управління усталеним рухом АКА, визначені допустимі відхилення положення його точки центру мас, при яких стійкість АКА може бути відновлена без зміни опорної фази руху.

У **четвертому розділі** синтезовано ієрархічну розподілену систему управління усталеним рухом АКА, яка ґрунтується на нових критеріях і стратегії управління. Показано інтеграцію системи управління та комп'ютерної моделі АКА в єдину систему управління рухом АКА на довільній опорній поверхні.

У загальному **висновку** сформульовані основні результати дисертаційної роботи.

Наукова новизна результатів дисертаційної роботи

1. Вперше запропоновано стратегію відновлення і дотримання усталеного руху АКА на довільній опорній поверхні, яка відрізняється від існуючих можливістю відновлення усталеного руху АКА в умовах коли його точка центру мас виходить за межі дотичної області стопи апарата до опорної поверхні.

2. Вперше обґрунтовано та розроблено критерії дотримання усталеного руху апарата на довільній опорній поверхні, які відрізняються можливістю виконання пошуку оптимальних розв'язків задачі збереження усталеного руху апарата з найбільшим запасом стійкості.

3. Удосконалено підхід до моделювання кінематичних зв'язків та динамічної поведінки антропоморфного крокуючого апарата, який відрізняється наявністю формалізованого опису його взаємодії з довільною опорною поверхнею.

Достовірність отриманих результатів, наукових положень, висновків і рекомендацій

Викладені в роботі теоретичні положення достатньо обґрунтовані, підтверджені результатами моделювання. Достовірність і обґрунтованість наукових результатів, методів, висновків і рекомендацій зумовлені коректним використанням основних положень аналітичної динаміки, теорії автоматичного управління, лінійного і нелінійного програмування, а також методів імітаційного комп'ютерного моделювання.

Практична цінність роботи полягає в застосовуванні її загальних та окремих результатів для вирішення практичних задач синтезу систем управління дотримання усталеного руху АКА різноманітної кінематичної структури та конструкції. Використання критеріїв та стратегії управління АКА,

що запропоновано в дисертаційній роботі, може застосовуватися для моніторингу та управління просторовим положенням маніпуляторів, які використовуватимуться для переміщення габаритних об'єктів із незадалим положенням точки центру мас.

У роботі наведені методи визначення та формалізованого опису гранично допустимого положення точки проекції центру мас АКА, при якому він є стійким. Також визначені передумови відновлення усталеного руху АКА зі стану його завалу. Розроблені аналітична та комп'ютерна моделі АКА, які описують його кінематичну структуру та динамічну поведінку під час взаємодії з довільною опорною поверхнею. Розроблене програмне забезпечення для оцінювання характеристик взаємодії АКА з опорною поверхнею, що ґрунтується на симуляції поведінки АКА при взаємодії з поверхнею.

Варто зазначити, що запропоновані в роботі концепція управління положенням точки центру мас та критерії дотримання усталеного руху АКА впроваджені в науково-дослідницький процес розробки і побудови експериментального робототехнічного обладнання для виконання орбітального сервісу у відділі “Космічних апаратів, комплексів та систем” ДП “КБ “Південне”. Комплекс засобів зворотнього зв'язку за даними про розподіл сил реакції опорної поверхні та система управління усталеним рухом упровадженні в науково-дослідницький процес розробки і побудови експериментального робототехнічного обладнання Пр АТ “НВК “Курс”. Також результати дисертаційної роботи використовуються в навчальному процесі кафедри технічної кібернетики Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут», про що свідчать відповідні акти впровадження.

Повнота викладу основних результатів і висновків у опублікованих роботах

Наукові результати виконаних досліджень відображені в 9-и друкованих роботах у наукових фахових виданнях (в тому числі іноземних). Основні положення дисертації апробовані на 7-и науково-технічних конференціях.

Аналіз публікацій свідчить про те, що вони всебічно і повно відображають наукові положення, висновки та рекомендації, викладені в дисертації.

Ідентичність змісту автореферату й основних положень дисертації.

Автореферат є ідентичним переліку основних наукових положень і висновків дисертаційної роботи. Текст автореферату повністю характеризує рівень наукової новизни і практичної цінності досліджень здобувача, а також показує його особистий внесок у вирішення наукової задачі, визначеної в роботі.

Відповідність дисертаційної роботи спеціальності

Дисертаційна робота Д.О. Гуменного за змістом, обсягом й оформленням повністю відповідає спеціальності 05.13.07 – «Автоматизація процесів керування», по якій вона представляється до захисту.

Зауваження до роботи

Позитивно оцінюючи роботу в цілому, необхідно висловити деякі критичні міркування і побажання:

1. Рівняння об'єкта дослідження, тобто крокуючого апарата, автор будує в формі системи рекурентних рівнянь для кожного тіла системи із явним зазначенням сил і моментів взаємодії кожного тіла з іншими тілами системи і рівнянь зв'язку. Така форма представлення математичної моделі системи твердих тіл в робототехніці отримала назву рівнянь Ньютона-Ейлера. Система рівнянь Ньютона-Ейлера є зручною для чисельного моделювання, однак для синтезу системи керування вона є незручною, оскільки не містить явних співвідношень між керованими змінними (узагальненими координатами) та керуючими діями (узагальненими силами).
2. Наведені в роботі форми представлення математичної моделі є еквівалентними, і автор шляхом достатньо громіздких еквівалентних перетворень фактично приводить систему рівнянь Ньютона-Ейлера до форми Ейлера-Лагранжа. Однак, слід зазначити, що відповідну систему в формі Ейлера-Лагранжа можна було отримати і безпосередньо за відомою методикою, виконавши при цьому порівняно менший об'єм формальних перетворень.
3. У кутових обмеженнях кінематичних пар ланок, що зазначені в таблиці 2.1 автором не вказані нульові позиції, при яких модель апарата ініціюється.
4. На рисунку 2.7 зображена циклограма зміни фази руху апарата, але при цьому не вказана залежність зміни фази від моментів та сил, що її спричинюють.
5. На рисунку 2.14 зображена структурна схема моніторингу взаємодії АКА з опорною поверхнею за допомогою тензочутливої системи зворотнього зв'язку, проте ні на схемі, ні в супровідному тексті не зазначена характеристика нелінійності відповідних сенсорів. Також не відомий можливий вплив цієї нелінійності на запропонований метод управління усталеним рухом апарата.
6. У системі рівнянь (3.2) формалізовано пошук положень точок центрів мас ланок апарата, проте в рівняннях не враховані динамічні характеристики самого апарата.
7. У рівняннях (3.13) описано пошук екстремумів сил реакції опорної поверхні при взаємодії з апаратом. Однак запропонований опис не враховує точного напрямку прикладання сил, а враховує лише місце прикладання і складову сили, спрямовану перпендикулярно до ланки стопи апарата.

8. Опис границі допустимого положення точки проекції центру мас, при якому АКА зберігає усталений рух (рівняння (3.21)) задано розв'язком задачі лінійного програмування. Відтак, і конур границі буде лінеаризованим. Таким чином, відбувається нагромадження похибки при оцінюванні запасу стійкості апарата.
9. Перерахунок положення точки центру мас апарата відносно групи екстремумів на опорній поверхні (рівняння (3.24)) містить тригонометричні перетворення, які за певних умов можуть зазнавати сингулярності, а відтак, не відповідатимуть однозначному вирішенню.
10. На рисунку 4.9. зазначені величини зовнішнього впливу носять швидше лінійний характер, і навряд чи може задовольнити потреби апробації системи управління.
11. Назва розділу 2.3.1 «Кінематична модель шестиланкового АКА» вказана помилково, бо всі подальші дослідження базуються на розгляді семиланкового АКА (рис.2.5, 3.3).
12. Наведені на стр.190 та 191 таблиці не мають розмірності. Також невідомо яким чином отримані значення похибок положення точки центру мас АКА.

Зазначені зауваження не знижують наукову цінність даної дисертаційної роботи, яка в цілому відповідає всім вимогам, що встановлені ВАК України до кандидатських дисертацій. Все це дозволяє стверджувати, що здобувач – Д.О.Гуменний гідний присвоєння йому наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.07.

Загальні висновки

Дисертація Д.О. Гуменного за рівнем теоретичних і експериментальних досліджень є завершеною роботою, в якій отримано нові науково обґрунтовані теоретичні і практичні результати, що в сукупності вирішують важливу науково-прикладну задачу управління усталеним рухом АКА на довільній опорній поверхні за даними про розподіл сил реакцій опорної поверхні.

За змістом і отриманими результатами дисертаційна робота відповідає вимогам п. 9, 11 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 № 567, а її автор, Гуменний Дмитро Олександрович, заслуговує присудження йому наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.07 – «Автоматизація процесів керування».

Офіційний опонент – заступник

генерального директора з наукової роботи

Державної науково-виробничої корпорації

“Київський інститут автоматики”

доктор технічних наук


Г.Г. Грабовський