

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Гуменного Дмитра Олександровича

«Автоматизація процесу керування усталеним рухом антропоморфного крокуючого апарата»,

подану на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук
за спеціальністю 05.13.07 – «Автоматизація процесів керування»

1. Загальна структура роботи

Дисертаційна робота виконана в Національному технічному університеті України на кафедрі Технічної кібернетики.

Об'єктом дослідження є процес автоматичного управління антропоморфними крокуючими апаратами. Предметом дослідження є автоматизація процесу управління усталеним рухом антропоморфних крокуючих апаратів на довільній опорній поверхні.

Дисертація складається із вступу, 4 розділів, висновків (основних результатів роботи), списку використаних джерел із 184 найменувань. Зміст роботи викладено на 215 сторінках друкованого тексту, що містять 56 рисунків.

2. Оцінка актуальності теми дисертації

Одним із перспективних напрямків сучасного роботобудування є створення роботів антропоморфного типу, як різновиду біотехнічних апаратів. Досить тривалий шлях наукових досліджень людства у вказаній галузі, з одного боку, та відсутність на сьогоднішній день промислових зразків роботів антропоморфного типу, з іншого боку, як найкраще доводять актуальність теми дисертаційної роботи. Це пояснюється не тільки недосконалістю технічних рішень виконавчої системи подібних роботів, а й в значній мірі відсутністю автоматичних систем керування антропоморфними роботами, наближених до істотних біологічних утворень відповідного типу.

Дисертація, що розглядається, містить результати досліджень однієї із фундаментальних складових робототехнічних систем, а саме процесу керування усталеним рухом антропоморфного крокуючого апарата (АКА). Загально відомо, що, як синтез виконавчої системи крокуючого робота, так і побудова системи його автоматичного керування, передбачають адекватну реакцію на зміни топології поверхні переміщення. Одним із факторів вказаної реакції є забезпечення усталеного руху робота, без якого не можлива реалізація ні транспортних ні технологічних функцій крокуючих апаратів. Останнє ствердження однозначно доводить не тільки актуальність, а й практичну доцільність проведених автором досліджень.

Реалізація відповідних наукових здобутків в частці розробки методичного, алгоритмічного та програмного забезпечення розв'язання задач підвищення стійкості руху АКА безумовно заслуговує на увагу. Більш того, не дивлячись на різноманіття існуючих засобів забезпечення усталеного руху — від стохастичних до адаптивних на основі сенсорних пристроїв, сьогодні, все ж таки, бракує наявності методологічного підходу до вирішення проблеми проектування крокуючих апаратів.

Таким чином, тему дисертаційної роботи, присвяченої вирішенню вище вказаних задач, слід визначити актуальною, що також підтверджено відповідними апробаціями та публікаціями по темі дисертації.

3. Оцінка наукової новизни дисертації

В роботі отримано наступні наукові результати:

- запропоновано новий підхід до управління усталеним рухом АКА на довільній опорній поверхні (ОП), заснований на використанні інформації про розподіл сил реакцій на стопах крокуючого апарату для розрахунку положення його центру мас;
- запропоновано новий метод управління усталеним рухом АКА, що базується на відстеженні динаміки точки проєкції центру мас АКА в умовах довільної опорної поверхні та, тим самим, запобігає його падінню;
- розроблено систему управління відновлення усталеного руху АКА за наявних зовнішніх впливів для забезпечення стійкого положення апарату без зміни фази руху;
- доопрацюванні підходи до управління усталеним рухом АКА на опорній поверхні шляхом введення додаткових обмежень на характер взаємодії апарату з ОП;
- вдосконалено підхід до аналітичного і комп'ютерного моделювання багатоланкових АКА з врахуванням характеру взаємодії апарату з ОП шляхом автоматизації відтворення даних розподілу сил реакцій опорної поверхні під час взаємодії з АКА.

Вказані результати є новими в даній предметній галузі і тому позитивна оцінка наукової новизни даної дисертаційної роботи не викликає сумнівів.

4. Оцінка достовірності та обґрунтованості основних положень дисертації

Прийняті в дисертації початкові положення та припущення в основному є коректними, узгоджуються із загальноприйнятими в даній предметній області. Теоретичні дослідження базуються на використанні методів напрямних конусів, кутів Ейлера, методу Денавіта-Хартенберга, рівнянь Ньютона-Ейлера та рівнянь Лагранжа другого роду, а також методу множників Лагранжа.

Прийняті положення та основні розрахунки реалізовано з використанням моделювання. Їх достовірність підтверджена послідовністю висновків та здійсненою комп'ютерною апробацією одержаних на їх основі результатів дослідження.

Отримані в роботі наукові положення та висновки є обґрунтованими з наукової та технічної точок зору.

5. Практична цінність роботи

В роботі досягнуті практичні результати, а саме:

- розроблено кінематичні та динамічні моделі, що зменшують трудомісткість процесу побудови фізичної моделі АКА. Останнє забезпечено заміною фізичної моделі її комп'ютерним аналогом;
- розроблено апаратно-програмний комплекс моніторингу та аналізу параметрів взаємодії апарату з довільною опорною поверхнею, що базується на зчитуванні розподілу сил реакцій ОП і управлінні положенням маятника-балансира;

Крім того, результати роботи впроваджені в навчальному процесі на кафедрі технічної кібернетики Факультету інформатики та обчислювальної техніки Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут» при підготовці фахівців за спеціальністю 7.05020102 «Комп'ютеризовані та робототехнічні системи».

6. Апробація роботи та повнота викладу результатів в опублікованих працях

Основні положення дисертаційної роботи доповідались та обговорювались на 7 наукових конференціях вітчизняного та міжнародного рівнів.

Результати та наукові положення дисертаційного дослідження достатньо повно відображено у 9 публікаціях у провідних наукових та фахових виданнях. Повний перелік публічних апробацій та наукових публікацій наведено в рукопису та авторефераті дисертації.

7. Зауваження та недоліки дисертації та автореферату

Віддаючи належне повноті, коректності досліджень та практичній цінності результатів дисертаційної роботи, слід звернути увагу на деякі недоліки, а саме:

1. Слід вважати некоректними наступні ствердження автора в розділі «Актуальність теми» (стор. 1 автореферату, третій абзац): «... методи управління АКА передбачають його застосування в умовах заздалегідь *відомої* ОП, *незмінної* кінематичної схеми та *заданих* ... сил, що діють на апарат зовні», а також подання у якості *задачі* в розділі «Вступ» рукопису (стор. 8, другий абзац): «забезпечення дотримання *усталеного* положення АКА при *статичному* положенні опорно-рухового апарату ...».

Тому що:

- по-перше, «*заздалегідь відомої* ОП» в істотних умовах пересування антропоморфних апаратів не існує, а існує *відома* опорна поверхня тільки в *штучно* створених виробничих чи побутових умовах, хіба що автор мав на увазі необхідність для сучасних систем керування попереднього *моніторингу* топології поверхні переміщення, але все єдино не в якості недоліку попередніх досліджень;
- по-друге, «*незмінна* кінематична схема» АКА, ланцюг якої класично утворюється обертовими ланками 5-го класу (тобто з одним ступенем свободи кожна), притаманна дослідженням автора (див. стор. 68 рукопису, підрозділ «2.2.1. Аналітичні методи формалізації моделі»), так само, як і попереднім технічним рішенням, тому не може бути протипоставлена їм, бо в роботі відсутня відповідна альтернатива;
- по-третє, не існує «*заданих* ... сил, що діють на апарат зовні», а існують сили реакцій на задані системою керування сили та моменти в суглобах антропоморфних апаратів;
- і нарешті, «забезпечення дотримання *усталеного* положення ... при *статичному* положенні ... АКА» не є задачею як такою, а є банальною умовою будь-якого засобу переміщення (див. також опис «... відповідних передумов ...» на стор. 114).

2. Важко погодитись із ствердженням автора на стор. 13 рукопису (останній абзац), що: «... за умов перебування точки *проекції* центру мас *за межами* стопи...» має місце «... падіння апарата». Для запобігання останнього достатньо застосування відомих технічних рішень, а саме, або підвищення сили зчеплення стоп АКА з опорною поверхнею або збільшення контр моменту, в суглобах антропоморфного крокуючого апарату, протидіючого його падінню.

Хоча, й слід погодитись з автором (див. там же) щодо *відсутності* досліджень засобів «...повернення ... систем до усталеного положення».

3. Автором правомірно при побудові динамічної моделі (стор. 90, вираз 2.49) враховані такі чинники як: вектори узагальнених координат, сили тяжіння, вхідних кутових впливів, а також обов'язкові матриці інерції ланок, прискорень та кутових моментів.

Але виникає питання: чому на стор. 117–118 при визначенні стійкості автор *обмежується* двома факторами: силою реакції $R_{Ay} > 0$ та прискоренням $a_{xx} > 0$? Тим більш, що остання умова визначає наявність сил інерції, матриця яких $M(q) \in R^{18 \times 18}$ надана раніш на стор. 91.

Відображення крутних моментів тільки в площині T_1, T_2 , коли в назві Рис.3.1 присутня фраза «... на дотичні ланки АКА» явно недостатньо.

4. На стор. 119 (другий абзац) не зрозуміло ствердження: «...порушення умов ... стійкості АКА, якщо такі умови *санкціоновані* системою управління», тому, що при втраті стійкості любий транспортний апарат, тим більш крокуючий, втрачає здатність виконувати будь-яку корисну функцію, в т.ч. і технологічну.

5. Неприйнятні сполучення понять «статистична обробка ... *експериментальних* даних ...» (стор. 4 автореферату, останній абзац) та в рукописі роботи «... показано *симуляцію* модельованої поведінки апарата ...» у підрозділі «4.2. Експерименти і результати» (стор. 166), тому що, перше поняття передбачає, що найменше, здійснення дисперсійного та регресивного аналізу даних фізичного експерименту, а друге — безумовно, комп'ютерне

моделювання, що проведено автором в середовищі MatLad Simulink SimMechanics, і слід відзначити, на достатньо високому для науковця професійному рівні.

6. Фраза «...система сил і моментів розбалансована у зв'язку з дією на АКА *сторонніх* сил, прикладених до його *корпусу* у площині ОП» викликає два запитання:
 - по-перше, що то є за *сторонні* сили, зміст яких ні в формалізованому, ні в текстовому форматах не надано?
 - чому дія вказаних сил розповсюджується тільки в площині ОП — опорної поверхні, коли мова йде про стійкість усього корпусу крокуючого апарату?
7. В підрозділі 4.2 «Експерименти і результати» (стор. 166 – 172), так само як і протягом всього рукопису, відсутня інформація про розрахунок розбіжності результатів комп'ютерного моделювання з реальною фізичною моделлю.
8. В роботі правомірно вжито скорочення АКА — антропоморфний крокуючий апарат. Але проведені дослідження в формі комп'ютерного моделювання локалізовані в межах положень ТЦМ — точки центру мас АКА (рис. 4.8, стор. 167) та областях стопи ((рис. 4.10, стор. 168). Тому, враховуючи, що крокуючий *апарат* як такий, тим більш *антропоморфний*, уявляє собою сукупність набагато більшої кількості складових: від різноманітних кінематичних пар (і не тільки 5-го класу) до приводів і сенсорів та т.п., то у якості рекомендації слід побажати авторові в подальшій науковій діяльності вживати термін *педипулятор* (наприклад, див. Патент UA 111021 МПК B62D57/032. Спосіб переміщення педипуляторів крокуючого робота ...; опубл. 10.03.2016, Бюл. № 5. – 9 с.). Наведений термін відображає суто крокуючий механізм, що в повній мірі відповідає проведенню дослідження.

Наведені зауваження носять переважно науково-методичний характер, а перелічені недоліки не є принциповими, тому не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи і можуть бути враховані у подальшій науковій діяльності автора.

8. Заключна оцінка дисертаційної роботи

Розглянута дисертаційна роботи Гуменного Д.О. є самостійною закінченою науково-дослідною роботою. Вона містить наукові положення, які можна розглядати як рішення важливої галузевої задачі, виконання якої сприяє розвитку робототехніки в Україні взагалі, та створенню крокуючих антропоморфних апаратів, зокрема.

Використання запропонованих розробок дозволяє підвищити якість прийняття рішень та зменшити тривалість розробок на етапі проектування крокуючих апаратів.

Зміст автореферату та публікацій за темою дисертації достатньо повно відтворюють зміст роботи, що опонується, підтверджують актуальність теми, мети та задач дослідження, наукової новизни та практичної цінності роботи.

Дисертаційна робота відповідає вимогам до дисертацій на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук відповідно до п. 9, 11 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника», а її автор Гуменний Дмитро Олександрович заслуговує присудження йому наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.07 – «Автоматизація процесів керування».

Офіційний опонент
кандидат технічних наук, доцент,
Головний конструктор Київського
спеціалізованого конструкторського бюро
СКБ – Перспектива,
Лауреат Державної премії України в галузі
науки і техніки

Підпис Поліщука М.М. засвідчую.
В.о. завідувачої бюро кадрів Савельєва Т.О.



М.М. Поліщук