

ВІДГУК

офіційного опонента

доктора технічних наук, професора Казака Василя Миколайовича на дисертаційну роботу Солдатової Марії Олександрівни «Автоматизація процесу стабілізації безпілотного літального апарату (БПЛА)», подану до захисту на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.07 – автоматизація процесу керування

Актуальність теми

Технічний рівень, досягнутий за останні роки, дозволяє використовувати безпілотні літальні апарати БПЛА для будь-якої діяльності. Одним з найбільш важливих завдань є виконання всієї програми польоту, в незалежності від будь-яких випадкових факторів. Тому задача аналізу та синтезу оптимальних систем стабілізації руху БПЛА на базі сплайн-функцій і функцій Уолша та алгоритмічного забезпечення для прикладних задач на базі отриманих теоретичних результатів є безумовно актуальною.

Крім того, робота виконувалась в рамках планових науково-дослідних робіт кафедри технічної кібернетики «КПІ ім. Ігоря Сікорського», зокрема, держбюджетної НДР «Розробка системи контролю та управління роботизованими мобільними засобами для комплексного моніторингу стану середовища та наземних об'єктів» (№ державної реєстрації НДР: 0113U003351)

Структура та зміст роботи

У першому розділі на основі аналітичного огляду сучасного стану та тенденцій розвитку систем управління БПЛА обґрунтовано висновок щодо актуальності оптимальної стабілізації програмного руху БПЛА, яка дозволить підвищити ефективність застосування БПЛА та знизити енергетичні витрати на його управління. Звідси сформульовано загальну постановку задачі дисертаційного дослідження та завдання для досягнення поставленої мети. Для реалізації вказаних в роботі завдань запропонована структурно-функціональна схема процесу реалізації автоматичної оптимальної стабілізації програмного руху БПЛА.

У той же час, розділ надмірно переповнений давно відомою інформвцією. Крім того, автору слід обґрунтувати вимоги до вибору коефіцієнтів лінійаризованої моделі руху БПЛА.

У другому розділі запропонована узагальнена процедура ідентифікації параметрів лінійаризованих динамічних моделей руху БПЛА в основі якої, покладені функцій Уолша і сплайн-функцій, що дозволяє знаходити при мінімізації інтегрального квадратичного критерію нев'язки оцінки шуканих параметрів на основі рішення системи лінійних алгебраїчних рівнянь для широкого класу лінійних динамічних систем. Також розроблено алгоритм адаптивного вибору шагу ідентифікації, що дозволяє істотно підвищити точність ідентифікації. Точність оцінки параметрів забезпечується побудовою сплайна із заданою точністю та вибором числа членів розкладу в ряд Уолша при розв'язанні систем лінійних алгебраїчних рівнянь методом регуляризації А. Н. Тихонова.

У той же час, при реалізації запропонованої методики параметричної ідентифікації, виникає питання щодо вибору кількості функцій Уолша, але в роботі, рекомендацій з цього питання немає. У підрозділі 2.4, доцільно було б навести умови спостережуваності.

У третьому розділі запропоновано оригінальний метод перетворення одного класу лінійних нестационарних моделей руху БПЛА в еквівалентні їм лінійні стаціонарні моделі, для яких можна застосувати добре відомі та апробовані методи оптимізації. Для нестационарних моделей руху БПЛА на основі запропонованого в роботі підходу, що використовує принцип мінімуму в поєднанні з математичним апаратом функцій Уолша для середньоквадратичних задач оптимізації БПЛА синтезовано матриці посилення оптимального за мінімумом енергії і узагальненого квадратичного функціоналу законів управління у вигляді апроксимацій рядами Уолша, постійні коефіцієнти яких знаходяться шляхом розв'язання системи лінійних алгебраїчних рівнянь. Крім того, синтезований оптимальний за витратами палива розімкнений закон стабілізації програмного руху одного класу БПЛА.

У розділі розглядаються наближені процедури апроксимації та операційного інтегрування, тому коректніше було б вести мову про субоптимальні регулятори ста-

білізації. Крім того, виникає питання, чи можливо синтезувати оптимальні регулятори більш високого порядку, ніж другий.

В четвертому розділі вирішується задача модального синтезу оптимальних законів стабілізації програмного руху БПЛА, динаміка яких описується лінійними стаціонарними моделями. У розділі, процедура модального синтезу оптимального закону управління здійснена на основі запропонованого методу невизначених коефіцієнтів. Труднощі вибору необхідних власних чисел долаються запропонованою процедурою побудови і корекції спектру коренів замкнутої оптимальної системи управління. Запропонована процедура робастного модального синтезу, яка базується на принципі гарантованої динаміки, що дозволяє вирішити проблему не тільки стабілізацію програмного руху, але й забезпечувати необхідну її якість.

У розділі розглядається скалярне керування. У зв'язку з чим, виникає питання, чи можливо використовувати запропонований метод невизначених коефіцієнтів у випадку векторного управління. У дослідженні не враховується вплив шумів вимірювальних приладів на точність оцінки параметрів динамічних моделей руху БПЛА.

Наукова новизна отриманих результатів. Аналіз матеріалів дисертаційної роботи дозволяє зробити висновок, що здобувачем у процесі досліджень сформульовано і вирішено важливу науково-прикладну задачу пов'язану з автоматизацією процесів створення регуляторів стабілізації програмного руху БПЛА в стаціонарних і нестаціонарних режимах польоту. Основними новими науковими результатами можна вважати:

- Запропонована нова процедура оптимізації процесів стабілізації програмного руху БПЛА на основі принципу мінімуму в поєднанні зі сплайн-функціями і функціями Уолша, що дозволяє синтезувати оптимальні закони стабілізації в аналітичній формі;
- запропоновано метод невизначених коефіцієнтів для реалізації процедури модального синтезу для лінійаризованих динамічних моделей руху БПЛА, який на відміну від існуючих дає можливість визначити оптимальний закон стабілізації із заданими показниками якості перехідних процесів, у тому числі і при наявності запізнення в контурі управління;

- удосконалена процедура оптимізації процесів стабілізації руху стаціонарних БПЛА з параметричною невизначеністю на основі модального синтезу і принципу гарантованої динаміки, що дає можливість синтезу робастного стабілізатора програмного руху БПЛА.

Практичне значення результатів дисертаційної роботи

Практична цінність результатів дисертації полягає в більш раціональному використанні динамічних можливостей БПЛА в умовах дії збурень детермінованого і випадкового характеру, що дозволяє підвищити точність і швидкодію бортових систем стабілізації і, як наслідок, збільшити надійність функціонування БПЛА в умовах невизначеності. Розроблені алгоритми ідентифікації та оптимальної стабілізації програмного руху літальних апаратів можуть бути використані в науково-дослідних установах при дослідженні подібних з точки зору динаміки моделей при наземних і льотних випробуваннях зразків перспективних БПЛА. Крім того, отримані в дисертації теоретичні результати дозволяють значно розширити перелік технічних систем і технологічних процесів, що потребують оптимізації перехідних процесів в режимах стабілізації динаміки їх стану.

Розроблені оптимальні алгоритми стабілізації програмного руху БПЛА впроваджені в Науково-виробничому об'єднанні «АВІА»(м. Кременчук). Крім того, частина методів увійшла в програму навчання студентів на кафедрі технічної кібернетики факультету інформатики та обчислювальної техніки Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Результати впровадження підтверджені відповідними актами.

Рекомендації щодо використання результатів дисертації

Результати дисертаційних досліджень становлять інтерес як для державних, так і для приватних організацій, що займаються проектуванням і оптимізацією систем управління БПЛА, а також складних технічних систем і технологічних процесів.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій, які захищаються

Обґрунтованість та достовірність одержаних наукових результатів і висновків забезпечується коректним використанням сучасних методів оптимального управління, аналітичного конструювання оптимальних регуляторів (АКОР), теорії секвентних функцій, теорії диференціальних рівнянь, теорії матриць та ін..

Достовірність одержаних в дисертації результатів та висновків підтверджується імітаційним моделюванням розроблених алгоритмів на основі комп'ютерного моделювання.

Повнота викладення матеріалів дисертації в опублікованих працях

Дисертація та автореферат написані грамотно, з дотриманням вимог до оформлення. Стиль викладу матеріалу досліджень, наукових положень та висновків забезпечує легкість і доступність сприйняття.

Автореферат повністю відображає зміст дисертації та всі наукові положення, що захищаються. За результатами досліджень опубліковано 15 наукових праць, у тому числі 11 статей у наукових фахових виданнях (з них 3 статті у виданнях іноземних держав, 8 у виданнях України, які включені до міжнародних наукометричних баз).

Апробацію дисертаційної роботи підтверджують 4 публікації в матеріалах науково-технічних конференцій.

В опублікованих працях повністю відображені наукові та практичні результати, отримані здобувачем під час виконання дослідження та їх впровадження.

Зауваження до змісту дисертаційної роботи

1. З аналізу матеріалу дисертаційної роботи не зрозуміло, який саме клас та які типи БПЛА досліджуються, адже навіть у одному і тому ж класі існують різні (за компоновкою, аеродинамічною схемою та формою, вагою, тощо) типи. Відповідно і методи стабілізації будуть різними.
2. В дисертаційній роботі чітко не визначено, який саме тип БПЛА та його двигуна обрано якості типового для досліджень, тому не можливо визначити, з

яких причин авторка в математичній моделі руху не враховує гіроскопічний момент двигуна.

3. У дисертаційній роботі слід було б визначити поняття та умови керованості, стійкості та спостережуваності відносно обраного для досліджень БПЛА, що спростило б визначення стабілізуючих дій.
4. В розділі 1 слід було б обґрунтувати вимоги до вибору коефіцієнтів лінійної нестационарної моделі руху БПЛА та окреслити можливість використання структурно- функціональної схеми процесу реалізації автоматичної оптимальної стабілізації програмного руху БПЛА (рис.1.7) при наявності лише програмної траєкторії, а також можливість її використання для інших технічних об'єктів та технологічних процесів.
5. В розділі 2 при реалізації запропонованої узагальненої методики параметричної ідентифікації виникає питання щодо вибору кількості функцій Уолша. Однак в роботі рекомендації з цього питання відсутні. Крім того не наведено, як оцінка розподілених параметрів реалізується в рамках запропонованої узагальненої методики.
6. В розділі 3 при розгляді задач синтезу оптимальних за витратами палива регуляторів стабілізації слід було б обґрунтувати вибір структури рівнянь у вигляді послідовного з'єднання типових динамічних ланок. Крім того, виникає питання о можливості синтезу оптимальних регуляторів більш високого порядку, ніж другий.
7. В розділі 3 використовуються наближені процедури апроксимації і операційного інтегрування, тому коректніше було б говорити о субоптимальних регуляторах стабілізації.
8. В розділі 4 при модальному синтезі оптимальних регуляторів стабілізації розглядається скалярне управління. Виникає питання, чи може бути використаний запропонований метод невизначених коефіцієнтів у випадку векторного управління.
9. При синтезі робастного регулятора стабілізації враховуються похибки оцінок параметрів лінійної стационарної моделі руху БПЛА від їх наближення.

Доцільно було б також врахувати вплив збурень в вимірювальних пристроях на точність оцінки параметрів лінійних динамічних моделей руху БПЛА.

10. Робота (розділ 1) перевантажена об'ємом та давно відомою інформацією, яку без втрати єдності доцільно було б винести у додатки.

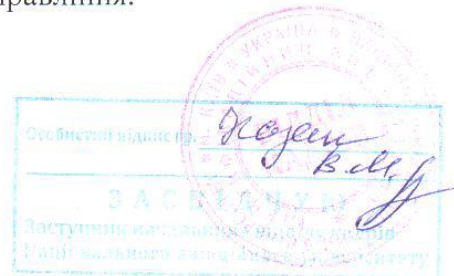
Оцінка дисертації в цілому

В цілому дисертаційна робота Солдатової Марії Олександрівни є завершеною науковою працею і відповідає вимогам п. 9, 11 «Порядку присудження наукових ступенів» затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. № 567 та спеціальності 05.13.07 – автоматизація процесів керування. Зроблені зауваження не зменшують наукової та практичної цінності роботи.

Дисертаційна робота “Автоматизація процесу стабілізації програмного руху безпілотного літального апарату (БПЛА)” за своєю актуальністю, науковою новизною та практичною цінністю відповідає вимогам ДАК України до робіт на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук, а її автор, Солдатова Марія Олександрівна, заслуговує на присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.07 – автоматизація процесів управління.

Офіційний опонент, доктор технічних наук,
професор, професор кафедри автоматизації
та енергоменеджменту

Національного авіаційного університету



В.М. Казак

В.М. Казак