

ВІДГУК

офіційного опонента професора кафедри телекомунікацій Інституту телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, доктора технічних наук, професора **Лисенка Олександра Івановича** на дисертаційну роботу Малоєд Марини Миколаївни «Автоматизоване проектування оптимальних систем стабілізації нелінійних динамічних об'єктів» на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.12 – системи автоматизації проектувальних робіт

Актуальність теми дисертаційної роботи обумовлена тенденціями 4-тої промислової революції, серед яких слід звернути особливу увагу на наступні.

Цифровізація систем автоматичного керування складними технічними об'єктами дозволяє реалізовувати все більш складні алгоритми, процедури, технології керування, що підвищує якість керування процесом функціонування цих об'єктів. Стає можливим використати усі позитивні якості об'єкту управління в номінальних (розрахункових) умовах його використання. Але, апаратно-алгоритмічне ускладнення процесу керування при певних відхиленнях від розрахункових умов функціонування призводить до виникнення нелінійних ефектів, не врахування яких може вплинути на забезпечення функціональної безпеки інформаційно-керуючих систем. Наприклад, дві авіакатастрофи літаків фірми Боїнг були пов'язані із до кінця не вивченими нелінійними ефектами в системі попереджування виходу літака на критичні режими польоту: система попередження звалювання сама «звалила» літак у штопор.

В самому найближчому майбутньому плани освоєння ближнього космосу пов'язані із його насиченням тисячами та десятками тисяч малих, мікро- і наносупутників для створення систем глобального надійного доступу до інтернету, що потребує значного здешевлення вартості виведення у космос корисного навантаження. Це означає необхідність розробки систем керування, які забезпечують повернення на землю майже усіх ступенів, прискорювачів, двигунів для повторного використання. Тобто, необхідно забезпечити економічне функціонально безпечне керування нестійкими нелінійними об'єктами із математичною моделлю руху типу перевернутий маятник. Армади ШСЗ поділятимуться на кластери, що утворюватимуть, так звані, розподілені супутники із реалізацією технології туманних та хмарних обчислень, що

Вх. 05/57.03
Від 25.09.2019

потребує, у свою чергу, швидкої переорієнтації і прецизійної стабілізації окремих ШСЗ в наперед не передбачуваних положеннях. В усіх наведених прикладах математичні моделі об'єктів керування є нелінійними та нестійкими або такими, що перебувають на границі чи поблизу границі стійкості. Для всіх, наведених у прикладах, об'єктів потрібно автоматизовано попередньо або в реальному часі (тому що має місце значний рівень попередньої невизначеності) проектувати автоматичне керування, яке дозволить забезпечити: стійкість; високу точність стабілізації у сталому стаціонарному чи динамічному режимах та економічний перехід від одного режиму до іншого.

Таким чином, на сьогодні гостро стоїть наукова задача створення САПР реального часу, тобто САПР наближені за своєю швидкістю до адаптивних або квазіадаптивних систем, але із більш широкими можливостями адекватного реагування на непередбачувані зміни умов функціонування об'єктів керування. Запропоновані у дисертації раціональні за витратами часу на обчислення і аналітично розвинуті алгоритми в поєднанні із телекомунікаційними технологіями покоління 5G дозволять розв'язати цю наукову задачу: САПР у хмарі, зі швидкими алгоритмами синтезу систем керування, отримує в реальному часі інформацію від блоку сенсорів з борту об'єкту управління, обробляє її і передає для реалізації на борт.

На сьогодні, до написання цієї дисертаційної роботи, не існувало методів синтезу технічних рішень (напрямок досліджень - див. п.4 паспорту спеціальності 05.13.12 – системи автоматизації проектувальних робіт), які б комплексно розв'язували вище означену наукову задачу шляхом визначення оптимальної структури та параметрів багатовимірного регулятора на основі використання розвинутих у дисертації методів прямого жорсткого синтезу (ПЖС) нелінійних систем стабілізації (НСС). Тому дисертаційна робота Малоед Марини Миколаївни присвячена автоматизованому проектуванню оптимальних систем стабілізації нелінійних динамічних об'єктів є актуальною, як з наукової, так і практичної точок зору. Проведені у дисертації дослідження відповідають завданням Постанови Кабінету міністрів України від 18.10.2017 р. №980, «Деякі питання визначення середньострокових пріоритетних напрямів інноваційної діяльності галузевого рівня на 2017-2021 роки» та Закону України "Про пріоритетні напрями інноваційної діяльності в Україні".

Ступінь обґрунтованості і достовірності наукових положень і рекомендацій

В дисертації розвинуто синтез описів технічних об'єктів у САПР завдяки вдосконаленню методів структурного аналізу та параметричної оптимізації і методів синтезу технічних рішень стосовно структури і параметрів стабілізуючих регуляторів для нелінійних систем із застосуванням методу прямого жорсткого синтезу нелінійних систем стабілізації із врахуванням не лінійності та нестійкості об'єкта керування.

Головна ідея методу прямого жорсткого синтезу нелінійних систем стабілізації полягає у евристичному визначенні структури матриці D , із використанням якої

будується функція Ляпунова у вигляді додатньовизначеної квадратична форми. Матриця D задається завдяки її мультиплікативній параметризації будь-якою неособливою блочно-трикутною матрицею (наприклад, нижньою) у вигляді

$$D = D_* D_*^T$$

при умові

$$\det D_* \neq 0,$$

коли гарантується її симетричність і позитивна визначеність, а також зменшується кількість її незалежних блоків, які вимагають безпосереднього визначення з рівняння Ляпунова. При цьому рівняння Ляпунова записується для випадку квазілінеаризації нелінійної математичної моделі об'єкта управління і ця модель, що представлена у нормальній формі Коші (тобто у просторі станів), задовольняє умовам Ліпшиця.

Стабілізація нелінійного нестійкого об'єкта управління забезпечується використанням квазілінійного закону управління, в якому матричний коефіцієнт підсилення обчислюється одним з шести, розвинутих у дисертації методів (алгоритмів), вибір яких залежить від вигляду матриці Якобі за управляючою змінною.

Таким чином, достовірність отриманих наукових результатів забезпечується адекватністю математичних моделей, коректним використанням відомого математичного апарату, збігом результатів теоретичних досліджень з результатами отриманими шляхом імітаційного моделювання та збігом окремих отриманих результатів з відомими.

Наукова новизна отриманих результатів

Головна наукова ідея покладена в основу розроблених у дисертації методів структурного аналізу та параметричної оптимізації і методів синтезу технічних рішень полягає у тому, що пропонується наступна послідовність операцій, які повинна виконати САПР:

- синтезувати алгоритм стабілізації об'єкта управління (тобто забезпечити його стійкість) на основі використання методу функцій Ляпунова;
- синтезувати алгоритм оптимального управління переходом об'єкта управління із стану в стан за критерієм узагальненої роботи або квадратичним критерієм на основі розв'язання рівняння Ляпунова або Ріккати;
- за допомогою оптимальних спостерігачів (наприклад фільтру Калмана) забезпечити алгоритми синтезу управління доброякісною інформацією про стан об'єкту управління.

Вважаю, що новими науковими результатами дисертації є наступні:

- вперше запропонована структура САПР, яка відрізняється від відомих тим, що містить блоки: структурного синтезу регулятора, що забезпечує

стабілізацію об'єкта управління; параметричного синтезу регулятора, що забезпечує оптимізацію переміщення об'єкта управління; структурно-параметричного синтезу оптимального спостерігача стану із імітаційним моделюванням його функціонування в єдиній системі регулятор-спостерігач, що дозволяє синтезувати в цілому функціонально безпечні регулятори в реальному часі;

- вперше систематизовано викладено алгоритми розв'язання рівнянь Ляпунова в залежності від розбиття матриці коефіцієнтів управління на блоки, що дозволяє формально виражати кожен з них через інший, формулювати умову стабілізованості і тим самим це суттєво скорочує час обчислень;

- вперше запропоновано комплексне використання методів прямого жорсткого синтезу нелінійних систем стабілізації із методом синтезу керування за критерієм узагальненої роботи О.А. Красовського, що дозволяє синтезувати закони керування у реальному часі.

Практичне значення отриманих результатів полягає в наступному:

- доведено, що шостий алгоритм методу ПЖС, за яким побудовано структуру стабілізуючого регулятора для об'єктів, математична модель яких відповідає математичній моделі маятника у верхньому (нестійкому) положенні рівноваги покращує якість стабілізації майже на 25 %.

- вперше розв'язано задачу прецизійної стабілізації вихідної напруги АРП, за рахунок синтезованого шостим методом ПЖС НСС закону управління;

- вперше знайдено стабілізуючий закон управління орієнтацією ШСЗ шостим методом ПЖС та виконано оптимізацію процесу стабілізації ШСЗ за квадратичним критерієм якості О. А. Красовського. Математичне моделювання руху супутника з оптимальним та неоптимальним стабілізуючим управлінням в середовищі MatLab показало, що його оптимальне управління підвищує якість стабілізації в середньому на 30 %.

- вперше побудовано асимптотично стійкий спостерігач стану ШСЗ за магнітометричною інформацією і за інформацією з датчика кутової швидкості в умовах невизначеності та досліджено стабілізацію ШСЗ з використанням цієї інформації.

Апробація і публікація результатів

Основні результати та наукові положення дисертації доповідалися та обговорювалися на 15 науково-технічних конференціях у тому числі і міжнародних. За темою дисертації автором опубліковано 5 статей в спеціалізованих виданнях, що входять до переліку фахових видань ДАК МОН України і 1 стаття у виданні, яке включено до міжнародних наукометричних баз.

Оцінка змісту дисертації, її завершеності в цілому відповідність встановленим вимогам оформлення дисертації

Дисертаційна робота містить вступ, 5 розділів, загальні висновки і список використаних джерел, що складається з 177 найменувань на 17 сторінках. Загальний обсяг роботи становить 173 сторінки (7,2 авторських аркуша). Робота містить 27 малюнків на 20 сторінках, 4 таблиці на 4 сторінках, 8 додатків на 9 сторінках.

Роботу написано українською мовою. Висновки наукові та практичні результати дисертації в достатній мірі відображають характер виконаних робіт.

Робота достатньо проілюстрована графіками та рисунками, а стиль викладу матеріалів досліджень, наукових положень, висновків забезпечує доступність їх сприйняття.

Автореферат відповідає основним положенням і змісту дисертації.

Дисертація є завершеною науковою працею.

Зауваження до дисертаційної роботи

1. Бажано, щоб у списку використаних джерел було більше сучасних англійських робіт.
2. Коментарі у лістингах програм в додатках бажано надавати трьома мовами: українською; англійською і російською.
3. Бажано щоб при викладені дисертації більш упорядковано використовувались терміни метод, процедура та алгоритм.
4. Не має детального пояснення яким чином задається залежність від часу елементів матриці D , із використанням якої будується функція Ляпунова у вигляді квадратичної форми.
5. Не наведено детальної інформації стосовно результатів дослідження ефективності функціонування синтезованих регуляторів під дією випадкових збурень.
6. В першому та п'ятому розділах дисертаційної роботи багато загальної інформації, яка для формату викладення дисертаційної роботи є зайвою.

Зазначені вище недоліки не є критичними для загальної позитивної оцінки наукових і практичних результатів дисертаційної роботи.

Висновок

Дисертація Малоєд М.М. «Автоматизоване проектування оптимальних систем стабілізації нелінійних динамічних об'єктів» є закінченою науковою працею, у якій вирішено актуальну наукову задачу щодо розробки підходу та методів синтезу технічних рішень в САПР реального часу на основі використання розвинутих у дисертації методів прямого жорсткого синтезу нелінійних систем стабілізації, що має значне практичне та теоретичне (наукове) значення, відповідає п.4 паспорту спеціальності 05.13.12 – системи автоматизації проектувальних робіт та вимогам п. 11, п. 12 та п. 13 «Порядку

присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника» Департаменту атестації кадрів Міністерства освіти і науки України, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 року № 567, які висовуються до кандидатських дисертацій, а її автор Малоєд Марина Миколаївна заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.12 – «Системи автоматизації проектувальних робіт».

Професор кафедри телекомунікацій Інституту телекомунікаційних систем
Національного технічного університету України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,
доктор технічних наук, професор,
заслужений діяч науки і техніки України,
лауреат Державної премії України в галузі науки в техніки

« _____ » _____ 2019 р.

