

## ВІДГУК

офіційного опонента

на дисертаційну роботу Демківа Любомира Ігоровича

на тему

**«АНАЛІЗ ТА СИНТЕЗ НЕЧІТКИХ РЕГУЛЯТОРІВ ДИНАМІЧНИХ СИСТЕМ»**,

подану на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук

за спеціальністю 05.13.03 – системи та процеси керування

### **1. Актуальність обраної теми та мета дисертаційної роботи**

Однією з основних цілей застосування регуляторів сучасних електромеханічних систем є підвищення їх енергоефективності, підвищення точності регулювання. Синтезовані регулятори повинні не лише гарантувати стійкість керованої системи, а й забезпечувати її належні динамічні характеристики. Поставлена кінцева мета керування переважно є досяжною різними способами, тобто можливими є численні траєкторії руху системи у просторі станів які приводили б вихідний сигнал системи до бажаного значення. Глибший аналіз динамічних процесів, що відбуваються в системі дає змогу сформулювати підхід до керування який би враховував особливості функціонування системи.

Оскільки переважна більшість систем є нелінійними, то в класичній літературі з теорії керування застосовують два основні підходи до керування такими системами: формування безпосередніх керуючих впливів нелінійною системою або її лінеаризація. Перший підхід є складним та не достатньо вивченим, тому основні результати тут спрямовані на досягнення стійкості досліджуваної системи. Другий підхід дає змогу формувати бажані перехідні процеси в системі, однак, лише в околі точки де проведено лінеаризацію системи.

Застосування апарату нечітких множин дає змогу отримати плавне перемикання сигналу керування між сигналами регуляторів, що синтезовані для лінійних систем які наближають вихідну нелінійну систему до лінійної в кількох точках. Такий підхід дає змогу суттєво підвищити гнучкість синтезованого регулятора, покращити керованість і стійкість та підвищити швидкодію системи.

У зв'язку з цим дисертаційна робота Демківа Любомира Ігоровича яка присвячена синтезу нечітких регуляторів, що забезпечують комплексне поліпшення показників динаміки, зокрема підвищення швидкодії системи з урахуванням нелінійностей, обмежень проміжних координат та зміни значень параметрів системи є актуальною і своєчасною.

### **2. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації**

Теоретичне обґрунтування отриманих в роботі результатів проведене з застосуванням теорії електроприводу, теорії нечітких множин та класичних методів теорії автоматичного керування. Отримані результати характеризуються строгістю математичних перетворень та коректністю прийнятих допущень.

### 3. Наукова новизна отриманих результатів

Наукова новизна, що отримана в результатах дисертаційної роботи Демківа Л.І. є в наступному:

- вперше проведено дослідження із застосуванням регулятора, що формує нестійку підсистему в сімействі лінійних динамічних підсистем, отриманих в процесі лінеаризації вихідної системи;
- запропоновано метод синтезу структури нечіткого регулятора при обмеженні проміжних координат системи;
- отримала подальший розвиток теорія нечіткого керування для регуляторів виду Такагі-Сугено з використанням стандартних форм розподілу коренів характеристичного поліному, що дало змогу формувати бажані показники динаміки роботи системи;
- отримала подальший розвиток теорія аналізу стійкості систем із нечіткими регуляторами: сформований критерій стійкості системи із нестійкою підсистемою та здійснено аналіз стійкості систем із нечітким регулятором, синтезованим на основі стандартних форм розміщення коренів характеристичного полінома;
- отримала подальший розвиток теорія багатокритеріального оптимального керування для випадку формування комплексного критерію зі змінними в часі ваговими коефіцієнтами окремих критеріїв, що дало змогу формувати ділянки керування з оптимальними траєкторіями руху.

### 4. Практичне значення отриманих результатів

Практичної цінності робота надають такі результати:

- сформовано підхід до синтезу нечіткого регулятора на основі формування характеристичного полінома з використанням стандартних лінійних форм розподілу коренів;
- покращено показники динаміки досліджуваних електромеханічних систем у порівнянні з традиційними підходами класичної теорії керування;
- спрощено структуру нечіткого каскадного регулятора, що дає змогу одночасно формувати бажаний вихідний сигнал системи та враховувати обмеження, що накладені на її проміжні координати;
- сформовано підхід до синтезу регуляторів, що забезпечують керовані коливні режими в околі робочої точки;
- синтезовано керування реальними електромеханічними об'єктами, покращено їх характеристики, та підвищено їхню енергоефективність.

Результати дисертаційних досліджень використано при виконанні науково-дослідних робіт у Національному університеті «Львівська політехніка», вони є частиною навчальних курсів у таких навчальних закладах: університет Алабами в Бірмінгемі (США), Український католицький університет,

Львівський національний університет імені Івана Франка, Національний університет «Львівська політехніка».

Також результати дисертаційної роботи було використано компаніями Softserve Inc. та Електронпобудприлад.

### **5. Структура та зміст дисертації**

Структура дисертації Демківа Л.І. за формою відповідає Вимогам до оформлення дисертації, затвердженим наказом Міністерства освіти і науки України від 12.01.2017 р. № 40. Основна частина дисертації складається зі вступу, чотирьох розділів та висновків. Повнота викладення положень дисертації в опублікованих працях.

У вступі дано загальний огляд роботи, її структури, актуальність, мета, наукова новизна та практична цінність отриманих результатів.

У першому розділі зроблено ґрунтовний огляд наукових джерел за тематикою дослідження. Проведене порівняння пропонованих підходів та зроблено відповідні висновки.

Другий розділ робіт присвячено синтезу нечітких регуляторів для сімейства динамічних систем та розглянуто випадки колі серед підсистем цього сімейства є нестійкі. Проаналізовано стійкість систем з пропонованими регуляторами. Також проаналізовано вплив параметричних та непараметричних ступенів свободи нечіткого регулятора на динамічні характеристики системи.

У третьому розділі дисертаційної роботи запропоновано підходи до синтезу регуляторів для задач багатокритеріальної оптимізації зі змінними в часі ваговими коефіцієнтами. Також запропоновано підхід до синтезу нечіткого керування робастними системами та системами з обмеженнями на проміжні координати.

Четвертий розділ роботи присвячено застосуванню пропонованих у попередніх розділах підходів до синтезу керування переміщенням дугової сталеплавильної печі та керування швидкості обертання колеса електромобіля. Отримані результати повністю підтверджують доцільність застосування нечіткого керування такими об'єктами оскільки суттєво покращують їх динамічні характеристики.

Робота закінчується висновками та додатками.

### **6. Повнота викладення положень дисертації в опублікованих працях**

Результати дисертаційної роботи Демківа Л.І. повністю висвітлені в наукових публікаціях. Зокрема, Демків Л.І. опублікував 38 наукових праць за матеріалами дисертаційної роботи, з них 12 є одноосібними, 8 включені до наукометричної бази Scopus, 21 праця опублікована з фахових виданням України.

Зміст автореферату в повній мірі розкриває наукові результати дисертації.

Дисертація не містить положень та результатів захищених у кандидатській дисертації.

## 7. Зауваження до змісту дисертації

1. У наведених висновках про можливість прискорення перехідного процесу в системі шляхом керування зміщенням полюсів передавальної функції через переналаштування регулятора засобами нечіткої логіки не окреслено клас систем, для яких такий підхід є оправданим, а саме: які розбіжності між постійними часу є допустимими, які типи нелінійності прийнятні при використанні даного методу? Приведені локальні приклади моделювання електромеханічних систем в розділі IV не дають відповіді на ці питання а відсутність в роботі характеристик використаних при моделюванні чисельних методів (таких як чисельна схема, обмеження по кроку) не дають змоги однозначно встановити походження коливних збурень (це наслідок нестійкості системи, чи нестійкість чисельного інтегрування (рис.4.13, 4.14).

2. Не проведено порівняння розробленої методики використання засобів нечіткої логіки для систем автоматичного керування із способами, реалізованими у програмному забезпеченні сучасних програмованих логічних контролерів (ПЛК) (напр. співпроцесорний модуль на нечіткій логіці ф. Omron (Японія), «нечіткі ПЛК» Klockner - Moeller (Австрія), Allen - Bradley (США), Siemens (Німеччина), використання нечіткої логіки у яких започаткували ще у 90-х роках.

3. Не приведені значення параметрів системи при яких здійснювалася симуляція незамкнутого пересувного модуля, результати якої приведені на рис.4.26-4.29. Наскільки отримані результати співвідносяться з дослідженнями сучасних систем керування, які, як правило, є дискретними?

4. Вибір форми представлення інтегральних показників якості (ст.90) залежить від особливостей перехідного процесу в системі, тому прийняття рівними вагових коефіцієнтів в формулі (2.22) не є характерним випадком.

5. Чим пояснюються різні значення вихідного сигналу в усталеному режимі при різних способах налаштування системи керування (ст.183,рис3.4)?

6. Розміщення коренів характеристичного полінома системи в лівій півплощині комплексної площини є ознакою стійкості системи, а не «одним із постулатів класичної теорії керування (ст.113)».

7. Недостатньо переконливим є перевірка підтвердження адекватності синтезованих алгоритмів і моделей (без побудови контролера керування об'єктами (процесами), наведенням результатів експериментів)

8. Є низка зауважень до використаної в роботі термінології, яка подекуди відрізняється від загальноприйнятої і утруднює сприйняття матеріалу, як от:

«ступінь свободи системи (ст.49,63,86)» - ступінь вільності системи;

«функція покарання» (ст.76, ст. 223) - штрафна функція;

«стаціонарна фаза (ст.275)» - встановлене значення перехідного процесу;

«у зоні великих коливань (ст.154)» - при значних відхиленнях;

«значення вихідної величини піднімається вгору» (ст.160)- зростає;

«технічні системи можуть працювати в різних точках простору станів (ст.184)» - в різних режимах;

«швидкість обертання (ст.275)» - кутова швидкість;

«вхідний сигнал в тиристорний перетворювач (ст.220)» - тиристорного перетворювача;

«еквівалентна обертальна інерція» (ст.253) – еквівалентний крутний момент інерції; (або «інерція обертального руху»).

«звичайна реакція колеса (ст.254)» - нормальна складова реакції колеса;

«еластичний крутний момент, коефіцієнт еластичності, еластичність валу (ст. 258)» - пружний крутний момент, коефіцієнт пружності і т.п.;

«гнучкі (еластичні) властивості механічної підсистеми (ст.275)» - пружні властивості;

«корені підсистеми, рух коренів підсистеми (ст.278)» - полюси передавальної функції підсистеми, зміщення полюсів передавальної функції підсистеми;

9. Допущено орфографічні неточності у формулах, посиланнях, підписах до рисунків, тощо на ст. 60, 70, 71, 76, 87, 105, 106, 107, 108, 110, 120.

## **8. Відповідність дисертації вимогам Міністерства освіти і науки України**

Ознайомлення з дисертаційною роботою Демків Любомира Ігоровича дає змогу стверджувати, що вона відповідає вимогам, зокрема п. 10, 12 та 13, «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого Постановою Кабінету міністрів України від 24.07.2013 р. № 567 зі змінами, затвердженими постановою Кабінету Міністрів України від 19.08.2015 р. № 656, які висуваються до кваліфікаційних наукових робіт на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук.

Дисертація за змістом та отриманими в ній результатами відповідає науковій спеціальності 05.13.03 – системи та процеси керування.

За обсягом, структурою, повнотою та стилем викладу дисертація відповідає вимогам МОН України до дисертаційних робіт поданих на здобуття наукового ступеня доктора наук.

## **9. Рекомендації щодо використання результатів дисертаційної роботи**

Результати дисертаційної роботи Демківа Л.І. можуть бути використані при синтезі пристроїв керування електромеханічними системами різної природи наприклад, у Softserve Inc., Електронпобудприлад тощо, а також при викладанні навчальних курсів, що пов'язані з робототехнікою, електричними машинами тощо. Зокрема використання результатів дисертаційної роботи могло б бути корисним в навчальних курсах Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, Національного університету «Львівська політехніка», університету Алабами в Бірмінгхемі, Львівського національного університету імені Івана Франка, Українського католицького університету.

## 10. Висновки

Дисертаційна робота Демків Л.І. на тему «Аналіз та синтез нечітких регуляторів динамічних систем» є завершеною науковою працею, в якій отримано нові науково обґрунтовані результати, що розв'язують актуальну наукову проблему синтезу інтелектуального керування нелінійними динамічними системами. Дисертаційна робота містить розвиток проблематики спеціальності за якою вона подана до захисту. Тема та зміст дисертаційної роботи відповідають вимогам оригінальності, унікальності викладених положень.

За рівнем отриманих теоретичних та прикладних наукових результатів, а також за рівнем важливості для практичних задач дисертаційна робота відповідає вимогам Міністерства освіти і науки України, які висуваються до докторських дисертацій.

Автореферат повністю розкриває зміст та отримані наукові і практичні результати дисертації.

Наведені зауваження не знижують наукової цінності дисертаційної роботи.

З урахуванням вищезазначеного, вважаю, що дисертаційна робота Демківа Любомира Ігоровича відповідає паспорту спеціальності 05.13.03 – системи та процеси керування та вимогам «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого Постановою Кабінету міністрів України від 24.07.2013 р. № 567 зі змінами, затвердженими постановою Кабінету Міністрів України від 19.08.2015 р. № 656, які висуваються до кваліфікаційних наукових робіт на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук, а її автор заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.03 – системи та процеси керування.

Офіційний опонент,  
завідувач кафедри приладів та контрольних-вимірювальних систем Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя,  
доктор технічних наук, професор

" 01 " 02 2019 р.

 М.І. Паламар

*Підпис зав. кафедри ПВ, д-ра техн. наук, професора Паламара М.І. засвідчую:*

Проректор з наукової роботи  
Тернопільського національного технічного університету ім. І. Пулюя

" 01 " 02 2019 р.



 проф. Рогатинський Р.М.