

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

Метою синтезу керування будь якою системою є забезпечення бажаних показників перехідного процесу з врахуванням обмежень накладених на керуючі впливи. Застосування класичних методів синтезу регулятора нелінійної системи не завжди дозволяє отримати бажані динамічні характеристики для всього діапазону роботи, або синтез керуючих впливів є надзвичайно складною задачею, яка має більш теоретичне ніж практичне значення. У випадку нелінійних систем основна увага науковців зосереджена на аналізі їх стійкості.

Застосування теорії нечітких множин дозволяє суттєво розширити можливості налаштування регуляторів динамічних систем. Проте до цього часу відсутні методи та алгоритми налагодження параметрів нечітких регуляторів, зокрема, і регуляторів типу Такагі-Сугено. Відомі із літературних джерел методи базуються на використанні функції Ляпунова і пошуку коефіцієнтів шляхом розв'язування рівняння Рікатті. За наявності обмежень на координати, зокрема, відсутності перерегулювання, що характерно для значного класу технічних систем, задача ускладнюється. Важливим чинником є забезпечення високої швидкодії системи, що підвищує ефективність її роботи. Поєднання класичних методів теорії керування за повним вектором стану системи та теорії нечітких множин дає змогу ефективно вирішувати задачі синтезу регуляторів з врахуванням накладених обмежень. Подальше збільшення швидкодії можливе, як показано в роботі, за рахунок застосування нестійких підсистем.

Таким чином, робота, яка присвячена створенню методології синтезу регуляторів, дослідженню впливу нестійкої підсистеми та траєкторії руху коренів з правої у ліву півплощину, аналізу стійкості системи з синтезованим регулятором, є *актуальною*.

Актуальною науковою проблемою є також синтез регуляторів для робастних систем та систем, що одночасно формують бажані перехідні процеси та забезпечують обмеження проміжних координат системи.

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

Наукові положення, що отримані в дисертаційній роботі Демківа Л. І. є повністю обґрунтованими, про що свідчать:

- коректне застосування методів класичної теорії автоматичного керування та теорії нечітких множин;
- проведені в роботі аналітичні розрахунки, що підтверджують теоретичні викладки;
- результати комп'ютерної симуляції досліджуваних систем як у випадку модельної задачі, так і у випадках застосування розроблених методів для вирішення конкретних задач, а саме, системи керування переміщенням електрода дугової сталеплавильної печі та керуванню двигуном колеса електромобіля;
- апробація результатів роботи на міжнародних наукових конференціях та наукових семінарах.

3. Наукова новизна отриманих результатів

Отримана в роботі наукова новизна полягає в наступному:

вперше

обґрунтована доцільність застосування нестійкої підсистеми для підвищення швидкодії динамічної системи та отримані кількісні та якісні характеристики, які підтверджують ефективність процесу керування технічними об'єктами; для випадку систем, що вимагають обмеження проміжних координат запропоновано метод синтезу каскадного нестійкого регулятора, що дозволяє забезпечити швидкодію перехідних процесів відповідно до поставленої мети керування;

отримала подальший розвиток

- теорія дослідження стійкості динамічних систем як для систем, що складаються з стійких підсистем, так і для систем, в яких одна з підсистем є нестійкою.
- теорія оптимального багатокритеріального керування, де значення вагових коефіцієнтів вибирають змінними в часі та залежними від координат системи в просторі станів в даний момент часу;
- теорія автоматичного керування, де для синтезу керуючих впливів запропоновано використовувати стандартні форми розподілу коренів, уникаючи розв'язання матричних нерівностей.

4. Практичне значення отриманих результатів

Результати, дисертаційної роботи, що мають практичне значення пов'язані з наступним:

- спрощенням структури регулятора при одночасному забезпеченні відсутності перерегулювань вихідної координати системи;

- обмеження значень координат вектора станів системи було досягнуто за допомогою використання каскадного регулятора, застосування якого не погіршує динаміку системи у порівнянні з нечітким регулятором;
- використанням підсистеми з коренем у правій півплощині для забезпечення автоколивного режиму з керованими характеристиками, а також для пришвидшення роботи системи в області великих відхилень;
- синтезовано системи автоматичного керування електромеханічними об'єктами, а саме, керування двигуном колеса електромобіля та керування переміщенням електрода дугової сталеплавильної печі.

Результати дисертаційної роботи використані при виконанні держтематики у Національному університеті «Львівська політехніка», а також використовуються в навчальних курсах як цього університету, так і університету Алабами в Бірмінгхемі (США), Українського католицького університету та Львівського національного університету імені Івана Франка.

У промисловості результати роботи знайшли практичне застосування в компаніях SoftserveInc. та Електронпобудприлад.

5. Структура та зміст дисертації

Структура дисертації Демківа Л.І. за формою та змістом 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 основних положень дисертації викладена в опублікованих працях.

У *вступі* висвітлено загальний огляд роботи, її структура, актуальність, мета, наукова новизна та практична цінність отриманих результатів.

У *першому* розділі зроблений детальний аналіз проведених наукових досліджень інших авторів, що пов'язані з тематикою дисертаційної роботи. Розглянуті переваги та недоліки, пропонованих у літературних джерелах, методів синтезу регуляторів, у тому числі, нечітких динамічних систем. Також наведено перелік завдань які необхідно вирішити в роботі.

Другий розділ роботи присвячений дослідженню автоматичних систем з нечітким регулятором. Розглянуто випадки наявності коренів в правій півплощині в характеристичному поліномі підсистеми. Отримані результати підтверджують ефективність розроблених методів синтезу динамічних систем. Крім того, у розділі розроблений метод аналізу стійкості таких систем та встановлено умови, що гарантують стійкість досліджуваної динамічної системи.

Отримані у розділі результати суттєво розширюють область застосувань нечітких регуляторів динамічних систем як для випадків, де необхідно мінімізувати час реакції системи на зовнішні вхідні сигнали, так і для випадку керованих коливних режимів в околі робочої точки.

У *третьому* розділі дисертаційної роботи розроблений метод синтезу автоматичних систем керування з багатокритеріальним критерієм якості. Отримані результати покращують відомі алгоритми оптимального керування

динамічними системами. Обмеження проміжних координат було досягнуто завдяки використанню каскадних регуляторів. Крім того, було запропонований метод, що дозволяє синтезувати робастне керування та нечітке керування нелінійними системами.

У *четвертому* розділі розроблені теоретичні положення нечіткого керування використані для синтезу керуючих впливів електромеханічних об'єктів. Зокрема вдалось досягти зменшення часу відпрацювання сигналу завдання системою автоматичного керування переміщення електрода дугової сталеплавильної печі та зменшення проковзування колеса електромобіля в залежності від поверхні руху.

6. Повнота викладення положень дисертації в опублікованих працях

Результати наукового дослідження, що лягли в основу дисертаційної роботи повністю висвітлені в наукових публікаціях, а саме:

- загальна кількість публікацій – 38;
- з них входять до наукометричної бази Scopus – 8;
- праці у фахових українських журналах – 21;
- одноосібних наукових праць – 12.

Зміст автореферату в повній мірі розкриває наукові результати дисертації.

7. Зауваження до змісту дисертації

1. У першому розділі автора аналізує сучасні системи автоматичного керування технічними і технологічними об'єктами, з оптимальними, адаптивними і робастними регуляторами. Доцільно було б цей матеріал подати компактніше, зосередивши свою увагу на аналізі систем з нечіткими регуляторами, зокрема, в частині аналізу стійкості автоматичних систем з такими регуляторами.

2. Для визначення параметрів налаштування синтезованих нечітких регуляторів автор використовує стандартні форми розміщення коренів характеристичного рівняння поданого у вигляді одного із поліномів – біноміальна форма, Батервота, Бесселя, Чебишева. Але в дисертації жодного разу не наведені значення таких коренів.

3. На с. 74 дисертації наведена формула характеристичного полінома та його коефіцієнти, значення яких визначають одну із чотирьох форм стандартного полінома. У наведених формах присутня величина ω . Автором не пояснено її зміст та не наведено її числове значення, що не дає змоги обчислити корені характеристичного полінома.

4. Аналіз стійкості систем автоматичного керування з нечіткими регуляторами здійснюється за допомогою запропонованого критерію стійкості

(2.54). Умови стійкості отримані лише для обмеженого класу систем на основі імітаційного моделювання. На жаль, автору не вдалося отримати теоретичне обґрунтування отриманих результатів.

5. Однією із основних задач, які розв'язує автор, є розрахунок параметрів налаштування П-регулятора (для багатовимірних систем матриці параметрів регулятора) та параметрів функції належності. Але в тексті дисертації не наведений метод і відповідний алгоритм такого розрахунку (як правило, наведений лише кінцевий результат, наприклад формули (2.44) – (2.46)).

6. У другому розділі дисертації доцільно було б навести структурні схеми досліджуваних систем керування, що дало б змогу адекватно оцінити результати виконаних досліджень.

7. На с. 118 наведено таке твердження: «Застосування нечіткої підсистеми при синтезі нечіткого регулятора вимагає відходу від класичних понять теорії автоматичного регулювання, які застосовуються для систем, у яких всі корені розміщені у лівій напівплощині». Таке твердження не є правильним. Якщо наперед відомо, що всі корені характеристичного рівняння лінійної (лінеаризованої) системи розміщені в лівій напівплощині, то така система стійка і немає сенсу досліджувати її на стійкість. З іншої сторони, критерій стійкості Найквіста визначає умови стійкості систем з від'ємними зворотними зв'язками за розміщенням коренів на комплексній площині розімкненої системи, частина із яких може знаходитись у правій напівплощині.

8. Для порівняльної оцінки ефективності розробленого методу синтезу систем з нечітким регулятором розглянута задача (2.52) на швидкодію. Знаходження її розв'язку потребує знання граничних умов і обмежень на керування. Такі дані не наведені в дисертації. Наприклад, при застосуванні методу Понтрягіна для визначення оптимального керування для задачі (2.52) отримуємо лінійну функцію Гамільтона і при не врахуванні обмежень на керуючу дію її значення не обмежене зверху.

9. Якщо розв'язується одна і та ж задача на швидкодію різними методами (с. 153) і отримані різні значення керуючих дій, то отримані результати вимагають додаткових пояснень.

10. При приведенні математичної моделі двигуна постійного струму (с. 68) до матрично-векторної форми на с. 69 пропущений знак «мінус» перед виразом $\frac{1}{J}$.

11. Загальні висновки 2 – 6 сформовані за результатами досліджень не узгоджуються з відповідними завданнями досліджень, що сформульовані у вступі.

12. Якщо при синтезі системи автоматичного керування використаний від'ємний зворотний зв'язок, то у формулі (2.3) керуючу дію необхідно взяти зі знаком «мінус».

13. У дисертації є цілий неточностей, описок і сумнівних термінологічних висловів. Автор часто вживає слово «підхід» замість «метод», «методика». Наприклад: «досліджено підхід», с.24; «визначено підхід», с. 26; «застосовано підходи ієрархічного керування», с.28; «запропоновано підхід», с. 31 і т. д. за текстом дисертації. Викликає сумнів таке твердження: «вперше в системах керування застосовано методику синтезу нечіткого регулятора ...» (с.19). Виникає питання: де саме була застосована така методика і на якому методі вона ґрунтується?

На нашу думку невдалим є термін «електромеханічні системи автоматизації технологічних процесів» (с. 24) (краще: електромеханічні об'єкти, що підлягають автоматизації); функції належності не «лінійні», а «кусково-лінійні» (с.86 та інші).

Позначення змінних на рис. 2.29 не відповідають відповідним змінним у формулі (2.42). На рис. 2.1а, 2.1б і 2.1в не вказані входи і виходи відповідних систем. При аналізі цілого ряду формул не завжди зрозуміло де вектор, а де скаляр (с. 60, с. 68, с.179).

На цілому ряді рисунків відсутні позначення координатних осей (рис. 2.21, 2.39, 2.44, 2.49, 2.51, 2.52 та інші).

На рис. 2.2 зображені «пусті» прямокутники. Незрозуміло, які динамічні властивості системи вони відображають.

14. Оформлення списку використаних джерел не відповідає рекомендаціям ДСТУ 8302:2015 «Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні вимоги та правила складання», який набув чинності з 01.07.2016 року.

15. Другий розділ, який займає 116 сторінок, доцільно було б розбити на два розділи.

16. У додатках відсутнє програмне забезпечення задач синтезу систем керування з нечітким регулятором, що не дає змоги оцінити, які саме числові методи були використані при розв'язуванні систем диференціальних рівнянь, оптимізаційних задач та яким чином здійснювалось імітаційне моделювання.

17. У відповідності до наказу МОН України № 40 від 12.01.2017 року розділи дисертації слід нумерувати арабськими цифрами, а не латинськими як це зроблено у дисертації.

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 та наказом МОН України № 40 від 12.01.2017 року.

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

9. Рекомендації щодо використання результатів дисертаційної роботи

Результати наукових досліджень, що отримані в дисертаційній роботі Демківа Л. І. можуть бути використані як на виробництві при налагодженні систем інтелектуального керування динамічними системами (наприклад, у SoftserveInc., Електронпобудприлад, тощо), так і в навчальному процесі при викладанні дисциплін, що пов'язані з автоматичним керуванням електромобілями, роботами, штучним інтелектом, тощо. Зокрема, використання результатів дисертаційної роботи було б доречним у відповідних навчальних курсах в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу, Національному університеті «Львівська політехніка», університеті Алабами в Бірмінгемі, Львівському національному університеті імені І. Франка та Українському католицькому університеті.

10. Висновки

Докторська дисертаційна робота здобувача наукового ступеня Демківа 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. За рівнем отриманих теоретичних та прикладних наукових результатів, а також за рівнем важливості для розв'язання практичних задач, дисертаційна робота відповідає вимогам Міністерства освіти і науки України, які висуваються до докторських дисертацій.

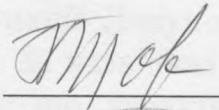
Автореферат повністю розкриває зміст та отримані наукові і практичні результати дисертації.

Наведені зауваження не знижують наукової цінності дисертаційної роботи.

Тому, вважаю, що дисертація Демків 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 та наказом МОН України № 40 від 12.01.2017 року, 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 комп'ютерних систем та мереж
Івано-Франківського національного
технічного університету нафти і газу,
доктор технічних наук, професор



М. І. Горбійчук

"28" січня 2019 р.

Підпис(и)	<i>М. І. Горбійчук</i>
посвідчую	<i>З. П. Процьок</i>
Учений секретар ІФНТУНГ	<i>01</i>
« 28 »	2019 р.

