

РЕЦЕНЗІЯ

рецензента, д.т.н., професора Щербака Якова Васильовича

на дисертаційну роботу **Беляєва Олега Сергійовича**

«Синтез двомасової електромеханічної системи з нелінійним

фрикційним навантаженням і квазінейрорегулятором»

подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії

за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та

електромеханіка

Була проаналізована дисертаційна робота Беляєва Олега Сергійовича на тему «Синтез двомасової електромеханічної системи з нелінійним фрикційним навантаженням і квазінейрорегулятором», подана на здобуття ступеня доктора філософії у Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут», що дало змогу оцінити її актуальність, ступінь обґрунтованості сформульованих у роботі наукових положень, висновків і рекомендацій, перевірити достовірність та значущість отриманих результатів, визначити наукову новизну, теоретичну й практичну цінність, а також сформулювати загальну оцінку дисертаційного дослідження.

1. Актуальність теми та зв'язок з науковими планами і програмами

Сучасні електромеханічні системи (електроприводи) знаходять широке застосування у промисловості, транспорті та технологічних процесах, де висувуються високі вимоги до точності й надійності керування рухом. В експлуатації таких систем можуть виникати нелінійні фрикційні навантаження, що характеризуються наявністю «падаючої» ділянки на статичній характеристиці тертя і спричиняють появу фрикційних автоколивань. У таких режимах електропривод являє собою електромеханічну систему з від'ємним в'язким тертям у якій можуть виникати розбіжні перехідні процеси, що, у свою чергу, може призвести до виникнення так званих фрикційних автоколивань і, як вказувалось раніше, може суттєво погіршити показники технологічного процесу. Подібні автоколивання спостерігаються у багатьох приводах

різноманітних машин і механізмів (прокатні стани, магістральні та шахтні електровози, електромобілі, металорізальні верстати тощо) та негативно впливають на їх роботу: погіршують якість технологічних процесів, викликають додаткові енергетичні втрати, призводять до зниження продуктивності. У окремих випадках фрикційні коливання можуть спричиняти аварійні ситуації та пошкодження кінематичних вузлів. Відтак, усунення фрикційних автоколивань та підвищення стійкості системи в електроприводах є актуальним завданням для підвищення надійності й ефективності машин та механізмів.

В роботі представлено розробку методики синтезу квазінейрорегулятора для двомасових електромеханічних систем з пружним зв'язком і нелінійним фрикційним навантаженням у модифікованих узагальнених безрозмірних параметрах з метою усунення фрикційних автоколивань та забезпечення показників якості систем автоматичного керування.

2. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Дисертаційна робота пов'язана з науковою тематикою кафедри автоматизованих електромеханічних систем НТУ «ХП» по дослідженню специфічних режимів роботи електроприводів машин і механізмів з нелінійним фрикційним навантаженням під час знаходження робочої точки на «падаючій» ділянці характеристики тертя.

Положення дисертації використовуються у навчальних курсах «Теорія електроприводу» та «Динаміка електромеханічних систем» для здобувачів першого й другого рівня вищої освіти, а також у курсах «Актуальні проблеми сучасного електроприводу» для аспірантів. Також результати дослідження використовуються при розробці автоматизованих електроприводів на підприємстві «ФЕД» (м. Харків).

3. Наукова новизна одержаних результатів

Дисертація містить наукову новизну, з найбільш суттєвих доробок роботи можна назвати:

- розроблено математичну модель двомасової електромеханічної системи у модифікованих узагальнених безрозмірних параметрах з нелінійним фрикційним навантаженням та квазінейрорегулятором;
- отримано аналітичні співвідношення для визначення меж стійкості розімкненої системи в просторі модифікованих узагальнених безрозмірних параметрів, що дає змогу оцінювати стійкість двомасового електропривода за умови знаходження його робочої точки на «падаючій» ділянці характеристики тертя;
- виведено аналітичні співвідношення для розрахунку вагових коефіцієнтів квазінейрорегулятора у модифікованих узагальнених безрозмірних параметрах, які забезпечують досягнення заданих динамічних показників якості регулювання системи;
- здійснено комп'ютерне моделювання роботи розімкнутої та замкнутої двомасової системи з розробленим квазінейрорегулятором у середовищі MATLAB/Simulink. Отримані результати підтверджують адекватність теоретичних положень і відповідність поведінки моделі реальним фізичним процесам, що вказує на практичну реалізованість запропонованих технічних рішень.

Отже, у дисертації отримано ряд нових наукових результатів у галузі електротехніки, які мають застосування для теорії та практики електромеханічних систем.

4. Практична цінність одержаних результатів та рекомендації щодо їх подальшого використання

Розроблені в дисертації підходи та методики можуть бути безпосередньо використані на практиці автоматизованого керування електроприводами. Згідно з наданими автором документами (актами впровадження), основні положення дослідження вже впроваджено:

- у освітній процес НТУ «ХПІ», де матеріали дисертації включено до навчальних програм кафедри АЕМС (зокрема, впроваджено спеціальний курс з квазінейрорегулювання в межах дисциплін «Теорія електропривода» та «Динаміка електромеханічних систем»);

- на ПАТ «ФЕД» (м. Харків) при створенні сучасних автоматизованих електромеханічних систем.

Наведені факти підтверджують практичну значущість отриманих наукових результатів.

5. Повнота викладення матеріалів дисертації в наукових працях, які опубліковані автором. За темою дисертації опубліковано 8 наукових праць, серед них: 4 статті у фахових періодичних виданнях України (категорії «А» та «Б»), 1 стаття у закордонному науковому виданні та 3 публікації апробаційного характеру в збірниках матеріалів міжнародних конференцій. Кількість і рівень цих публікацій відповідають вимогам МОН України до здобувачів ступеня PhD, що засвідчує належну апробацію основних результатів роботи. Представлена дисертація є самостійною і завершеною науковою працею, результати якої мають значення для підвищення стійкості та керованості електроприводів з нелінійним фрикційним автоколиванням в нормальних та аномальних режимах проковзування.

6. Аналіз змісту дисертації. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертації

Дисертація Беляєва О.С. являє собою цілісну, завершену науково-дослідну роботу. Робота написана українською мовою, містить анотації українською та англійською мовами, вступ, п'ять розділів основної частини, висновки, список використаних джерел і два додатки. Структура дослідження є логічною і послідовною: усі розділи взаємопов'язані та підпорядковані досягненню поставленої мети.

Дослідження присвячено специфічним динамічним режимам двомасових електромеханічних систем з нелінійним фрикційним навантаженням, яке містить «падаючу» ділянку характеристики тертя.

Автором розроблена методика синтезу системи з використанням так званого квазінейрорегулятора, який являє собою спрощену структуру нейронної мережі. При цьому, на відміну від традиційних нейронних мереж при синтезі яких необхідно виконувати багаточисельні комп'ютерні розрахунки вагових коефіцієнтів системи, автором виведено аналітичні співвідношення через модифіковані узагальнені безрозмірні параметри.

У вступі обґрунтовано вибір теми та її актуальність, сформульовано мету і завдання дослідження, визначено об'єкт і предмет, відображено наукову новизну й практичну значущість роботи, окреслено особистий внесок дисертанта, наведено дані про апробацію результатів та публікації.

У розділі 1 здійснено аналіз поточного стану проблеми керування електроприводами з фрикційним навантаженням та сформульовано завдання дослідження. Проведено огляд наукових джерел за темою роботи, розглянуто типові структури систем автоматичного керування електроприводом, їх переваги й недоліки щодо забезпечення стійкості та якості регулювання. Наприкінці розділу сформульовано мету дисертації та поставлені завдання дослідження.

У розділі 2 надано математичну модель двомасової електромеханічної системи. Обґрунтовано перехід до модифікованих узагальнених безрозмірних параметрів. Отримано із застосуванням методу D-розбиття аналітичні залежності, які визначають межі стійкості розімкненої системи при варіюванні параметрів. Наведено графіки, що ілюструють стійкі та нестійкі області.

У розділі 3 викладені теоретичні положення квазінейрорегулювання. Представлено структуру регулятора для досліджуваної системи у модифікованих узагальнених безрозмірних параметрах. Запропоновано визначення характеристичного поліному замкнутої системи, як суму полінома розімкнутої і поліному-доповнення до неї, в якому похідні визначаються за методом кінцевих різниць. Такий

підхід дозволив отримати аналітичні вирази вагових коефіцієнтів квазінейрорегулятора

У розділі 4 здійснено безпосередній синтез системи з квазінейрорегулятором. На основі результатів попередніх розділів автор вивів аналітичні формули для обчислення вагових коефіцієнтів квазінейрорегулятора. Для визначення коефіцієнтів цього полінома застосовано метод кінцевих різниць. Надано методику синтезу двомасової електромеханічної системи з пружним кінематичним зв'язком та нелінійним фрикційним навантаженням і з квазінейрорегулятором.

У розділі 5 надана комп'ютерна модель системи, що досліджується. Обґрунтовано доцільні режими комп'ютерного моделювання. Імітаційна модель з квазінейрорегулятором створена у середовищі MATLAB/Simulink. Результати комп'ютерного моделювання підтвердили вірність теоретичних положень роботи і узгодженість з теоретичними висновками.

У підсумкових висновках дисертації узагальнено результати виконаної роботи. Сформульовано основні наукові результати, що виносяться на захист, і показано, як саме вирішено поставлені у вступі завдання. Висновки підтверджують досягнення мети дослідження – усунення у двомасовій електромеханічній системі фрикційних автоколивань та забезпечення показників якості керування завдяки використанню квазінейрорегулятора синтезованого по запропонованій методиці. Це свідчить про логічну завершеність дослідження та виконання автором запланованих завдань роботи.

Список використаних джерел (90 найменувань), поданий після висновків, охоплює широке коло літератури за темою дослідження. У ньому наявні як класичні праці з теорії електропривода, так і сучасні публікації з питань нейрокерування, систем з пружними механічними ланками, методів усунення коливань тощо. Це свідчить, що здобувач врахував у своєму дослідженні роботи попередників і врахував у своїй дисертації попередні роботи з аналогічної тематики.

Додатки до дисертації містять матеріали, що підтверджують практичне впровадження отриманих результатів (копії актів про впровадження у ПАТ «ФЕД» та у навчальний процес НТУ «ХП»), а також повний перелік публікацій автора за темою роботи.

7. Достовірність отриманих результатів та висновків

Достовірність результатів дисертаційної роботи забезпечується коректним застосуванням сучасного математичного апарату теорії автоматичного керування, теорії стійкості та методів аналізу динамічних систем. Для перевірки достовірності аналітичних висновків залучено комп'ютерне моделювання як інструмент верифікації в електромеханіці. Результати моделювання підтвердили основні теоретичні положення роботи, зокрема ефективність синтезованого регулятора та вірність визначених меж стійкості.

8. Оформлення дисертації, дотримання вимог академічної доброчесності та повнота викладення наукових положень та результатів в опублікованих працях

Дисертація виконана з дотримання вимог академічної доброчесності, отримані результати дають підстави говорити про оригінальність роботи. Дисертація містить авторські ідеї. Використання ідей інших науковців без посилання на їх роботи не виявлено.

Основні ідеї автора та результати дослідження викладено у чотирьох фахових статтях, однієї закордонної статті, а також дисертант активно приймав участь в українських та закордонних конференціях, де була проведена апробація ідей роботи.

9. Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи

1. У першому розділі дисертації наведено значний обсяг загальновідомого теоретичного матеріалу, що дещо перевантажує основний зміст роботи.
2. Аналіз літературних джерел проведено переважно на описовому рівні і не містить достатньо глибокого критичного осмислення. Дисертантом не здійснено чіткого порівняння різних підходів, описаних у літературі, та не

виокремлено повною мірою невирішені питання, що дещо послаблює обґрунтування обраного напрямку досліджень.

3. Результати дисертаційного дослідження підтверджено лише за допомогою математичного моделювання, без експериментальної перевірки на реальному об'єкті. Відсутність практичного випробування розробленої системи керування (наприклад, на фізичному стенді чи прототипі) не дозволяє повною мірою оцінити її дієвість та надійність в реальних умовах.

4. У дисертації бракує порівняльної оцінки ефективності запропонованого підходу з іншими існуючими методами. Автор не навів прямих зіставлень ефективності розробленого квазінейрорегулятора з традиційними регуляторами або альтернативними способами усунення фрикційних автоколивань, що утруднює оцінювання переваг запропонованого рішення.

5. Текст дисертації містить деякі незначні недоліки технічного та мовностилістичного характеру. Зустрічаються друкарські помилки, пунктуаційні неточності і стилістичні огріхи.

Зазначені зауваження не є принциповими і не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи. Рівень виконання дисертації, глибина дослідження і значущість отриманих результатів свідчать про високий науковий та професійний рівень здобувача.

10. Висновки

Дисертаційна робота Беляєва О.С. є завершеною науково-дослідною роботою, яка містить науково-обґрунтовані результати, має наукову новизну та дає перспективи подальших досліджень. Тема дослідження відповідає галузі знань 14 – «Електрична інженерія» та спеціальності 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».


Отже, враховуючи актуальність теми, отримані результати та певну практичну значущість вважаю, що дисертаційна робота Беляєва Олега Сергійовича «Синтез двомасової електромеханічної системи з нелінійним фрикційним навантаженням і квазінейрорегулятором» відповідає вимогам

6, 7, 8, 9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціальної вченої ради Закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» від 12.01.2022 р. № 44 та вимогам до оформлення дисертації МОН України від 12.01.2017 № 40, а сам автор, Беляєв Олег Сергійович, заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора філософії зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

Рецензент – доктор технічних наук,
Професор кафедри автоматизованих
електромеханічних систем


Яків ЩЕРБАК

01.08.2025

Національний технічний університет
"Харківський політехнічний інститут"
Підпис 
Засвідчую:
НАЧАЛЬНИК ВІДДІЛУ КАДРІВ 