

ВІДГУК

офіційного опонента

Кузнецова Бориса Івановича

на дисертаційну роботу Беляєва Олега Сергійовича

«Синтез двомасової електромеханічної системи

з нелінійним фрикційним навантаженням

і квазінейрорегулятором»,

представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії

за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Актуальність теми

Електромеханічні системи широко застосовуються у різних галузях промисловості, транспорті та технологічних процесах, де необхідно забезпечити точне і надійне управління рухом. Багато з цих систем функціонують у складних умовах, коли виникають нелінійні фрикційні навантаження. Ці навантаження мають особливу нелінійну характеристику, яка включає «падаючу» ділянку, що призводить до появи фрикційних автоколивань.

Тому дисертаційна робота Беляєва Олега Сергійовича, що спрямована на вирішення науково-практичної задачі усунення фрикційних автоколивань є актуальним завданням для підвищення надійності та ефективності сучасних електроприводів.

У дисертаційній роботі поставлена науково-технічна задача розробки нової та удосконалення існуючих методик синтезу квазінейрорегулятора для двомасової електромеханічної системи з пружним кінематичним зв'язком і нелінійним фрикційним навантаженням, що забезпечує усунення фрикційних автоколивань.

Дисертаційна робота виконана в рамках створеного на кафедрі автоматизованих електромеханічних систем НТУ «ХП» нового напрямку «Динаміка електромеханічних систем з нелінійним тертям». За цим напрямком, як відомо, до 2022 року кафедрою було виконано низку тем за планами Міністерства освіти і науки України. Результати цих досліджень впроваджені на ряді провідних підприємств України, зокрема на металургійному комбінаті «Криворіжсталь»,

Харківському верстатобудівному заводу , на заводі «Електромашина» , Харківському приладобудівному заводу імені Т.Г.Шевченка та інших.

В науково-теоретичному плані дисертаційна робота є продовженням попередніх досліджень і виконувалась в 2022-2025р.р. згідно наукових тем кафедри в напрямку вдосконалення технічних рішень для подальшого впровадження результатів за одержаним кафедрою патентом № 12362 України «Квазінейрорегулятор для електромеханічної системи».

За пропозицією харківського заводу «ФЕД» з метою використання результатів роботи при розробці нових зразків сучасної техніки в завдання дисертації було включено розробку науково-обґрунтованої методики розрахунку вагових коефіцієнтів квазінейрорегулятора у модифікованих узагальнених безрозмірних параметрах.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі.

Положення та висновки, наведені в дисертаційній роботі Беляєва Олега Сергійовича. в достатній мірі обґрунтовані як з наукового, так і з технічного поглядів. Обґрунтованість отриманих у роботі наукових положень, висновків і рекомендацій базується на використанні математичного апарату лінеаризації нелінійних характеристик із збереженням нелінійності «у великому»; математичне моделювання у структурній формі з наданням фізичних та модифікованих узагальнених безрозмірних параметрів; топологічний метод при визначенні передатної функції та характеристичного поліному системи; метод D-розбиття при одержанні аналітичних співвідношень меж стійкості; поліноміальний метод синтезу при отриманні виразів коефіцієнтів поліному-доповнення; метод кінцевих різниць. Результати перевірені шляхом проведення комп'ютерного моделювання у середовищі MATLAB/Simulink, що підтверджує обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі.

Достовірність результатів досліджень.

Достовірність результатів теоретичних досліджень підтверджується результатами моделювання у середовищі MATLAB/Simulink розімкненої та замкнутої системи з квазінейрорегулятором у типових режимах роботи та їх

відповідності фізичній сутності досліджуваних динамічних процесів.

Наукові результати застосовані під час розробки комп'ютерної моделі у середовищі MATLAB/Simulink для проектуванні систем електропривода з квазінейрорегулятором.

До основних нових наукових результатів дисертації слід віднести наступне:

Наукова новизна отриманих результатів:

– вперше розроблено математичну модель двомасової електромеханічної системи в модифікованих узагальнених безрозмірних параметрах з урахуванням фрикційної нелінійності та квазінейрорегулятором;

– вперше отримані аналітичні співвідношення для розрахунку меж стійкості системи з використанням методу D-розбиття в залежності від узагальнених безрозмірних параметрів;

– вперше отримані аналітичні співвідношення для розрахунку вагових коефіцієнтів квазінейрорегулятора у модифікованих узагальнених безрозмірних параметрах, які забезпечують задані показники регулювання (при переміщенні робочої точки по падаючій ділянці механічної характеристики фрикційного навантаження) та стійкість системи;

– запропоновано структуру квазінейрорегулятора із значеннями його вагових коефіцієнтів за одержаними аналітичними співвідношеннями, яка забезпечує усунення фрикційних автоколивань із використанням лише однієї координати для зворотного зв'язку – швидкості другої маси.

Значимість отриманих результатів для науки і практичного використання.

Практичне значення отриманих результатів полягає у наступному:

– розроблена методика синтезу квазінейрорегулятора забезпечує можливість впровадження керування у промислових системах автоматизованого електроприводу, де суттєво проявляються пружні властивості кінематичних зв'язків та наявність падаючої ділянки механічної характеристики навантаження (при юзі, проковзуванні та ін.). Синтезований за розробленою методикою квазінейрорегулятор забезпечує усунення фрикційних автоколивань.

– створена в роботі комп'ютерна модель у середовищі MATLAB/Simulink може бути використана при проектуванні систем електропривода з

квazăнейрорегулятором та у навчальному процесі технічних університетів у курсах з автоматизації, теорії керування та електромеханічних систем електропривода.

Практична цінність полягає у використанні результатів досліджень:

- у ПАТ «ФЕД» при проведенні науково-дослідних робіт за напрямком розробки сучасних автоматизованих електромеханічних систем;
- в Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут» (м. Харків) при розробці і впровадженні в навчальний процес кафедри «Автоматизованих електромеханічних систем» при підготовці бакалаврських та магістерських робіт, а також введення нових лекцій з квazăнейрорегулювання для студентів денної форми навчання у лекційних курсах «Теорія електроприводу» і «Динаміка електромеханічних систем» та для аспірантів у лекційному курсі «Актуальні проблеми сучасного електроприводу».

Повнота викладення результатів досліджень в опублікованих працях.

Результати досліджень опубліковані у 8 наукових працях: 4 статті – у наукових періодичних фахових виданнях України категорії «А», «Б»; 1 стаття – у закордонному виданні, 1 стаття у міжнародній наукометричній базі Scopus та 3 у матеріалах апробаційного характеру.

Участь здобувача у роботах, що опубліковані у співавторстві зазначена у дисертаційній роботі.

Опубліковані матеріали повністю відображають зміст дисертації та відповідають вимогам пункту 8 Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії, затвердженого Постановою КМУ від 12.01.2022 р. №44.

Оцінка змісту дисертаційної роботи

Дисертаційна робота Беляєва Олега Сергійовича складається з анотації двома мовами, вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків. Загальний обсяг становить 103 сторінки; з них 28 рисунки по тексту; список використаних джерел з 90 найменувань на 9 сторінках; 2 додатки на 4 сторінках.

Анотація відображає основний зміст дисертації та достатньо повно розкриває наукові результати та практичну цінність роботи.

У вступі обґрунтовано вибір та актуальність теми дисертації; зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами; мету і завдання дослідження; методи дослідження; наукову новизну отриманих результатів; практичне значення отриманих результатів; особистий внесок здобувача; відомості про апробацію матеріалів дисертації та публікації; структуру та обсяг дисертації.

У першому розділі представлено огляд сучасного стану досліджень у галузі автоматизованого керування електроприводами з фрикційним навантаженням. Проведено аналіз методів регулювання автоматизованими електроприводами та обґрунтовано доцільність застосування квазінейрорегулятора побудованого за структурою спрощеної нейронної мережі. Сформульовано постановку задач роботи.

У другому розділі розроблено математичну модель двомасової електромеханічної системи з пружним з'єднанням та нелінійним фрикційним навантаженням у фізичних та модифікованих узагальнених безрозмірних параметрах. Обґрунтована доцільність лінеаризації ділянок механічної характеристики фрикційного навантаження зі збереженням нелінійності «у великому». Виведені аналітичні співвідношення для визначення меж стійкості розімкненої системи при переміщенні робочої точки по падаючій ділянці характеристики тертя та надані графічні приклади.

У третьому розділі розглянутий принцип квазінейрорегулювання та наведено його теоретичне обґрунтування. Запропоновано при реалізації полінома-доповнення до поліному розімкненої системи використання методу кінцевих різниць. Запропоновано структуру квазінейрорегулятора з використанням лише однієї координати – швидкості другої маси, для формування зворотного зв'язку.

У четвертому розділі розроблені аналітичні співвідношення для визначення вагових коефіцієнтів квазінейрорегулятора та запропоновано методику синтезу електромеханічної системи з квазінейрорегулятором.

У п'ятому розділі розроблено комп'ютерну модель досліджуваної системи з квазінейрорегулятором. Проведено вибір режимів та виконано моделювання. Зроблено аналіз одержаних результатів комп'ютерного моделювання.

Висновки до розділів та за результатами роботи сформульовані чітко та відповідають змісту дисертаційної роботи.

Список використаних джерел із 90 найменувань досить повний і включає вітчизняні та зарубіжні публікації.

У додатках наведено список публікацій за темою дисертації та відомості про апробацію результатів дисертації; акти про впровадження результатів дисертаційної роботи.

Академічна доброчесність

Порушень академічної доброчесності в дисертації та наукових публікаціях, у яких висвітлені основні наукові результати дисертації, не виявлено.

Усі результати, які винесено автором на захист, отримані самостійно і містяться в опублікованих роботах. У роботах, опублікованих у співавторстві, використані тільки ті ідеї, положення та розрахунки, які є результатом особистих наукових пошуків.

По дисертаційній роботі можна зробити наступні зауваження:

1. При синтезі квазінейрорегулятора двомасової ЕМС в модифікованих узагальнених безрозмірних параметрах не ураховані математичні моделі динамічних властивостей тиристорного перетворювача да датчика вихідної координати системи.
2. При синтезі квазінейрорегулятора двомасової ЕМС не обгрунтовано вибір стандартної форми бажаного нормованого поліному у вигляді Баттерворту. При застосуванні такого розподілу корені характеристичного рівняння синтезованої системи компактно розташовані біля середньо геометричного кореня характеристичного рівняння. Але синтезована система має суттєво різні постійні часу тиристорного перетворювача і датчика вихідної координати системи порівняно із механічною частиною.
3. При виборі бажаного нормованого поліному у вигляді Баттерворту із роботи не зрозуміло, як можна враховувати обмеження на змінні стану та керування в синтезованій системі при дії на систему задаючих, та особливо, збурюючих впливів.
4. Параметри об'єкту керування системи, а можливо і його структура, відомі неточно та можуть змінюватися при роботі системи. Тому синтезована система повинна бути робастною. Не зрозуміло, як можна враховувати ці невизначеності об'єкту керування при синтезі системи. Крім того, доцільно було б провести

дослідження чутливості синтезованої системи до варіації параметрів об'єкту керування.

5. При синтезі системи не ураховані перешкоди вимірювання вихідної координати системи. Фактично у системі виконується багатопорядкове диференціювання вихідної змінної системи, і тому виміряні похідні можуть мати великий шум.

6. У роботі відсутні рекомендації по вибору періода дискретності вимірювання вихідної координати системи, що може суттєво впливати на динамічні властивості синтезованої системи.

7. У роботі відсутні результати моделювання змінних стану синтезованої системи при дії завдання та моменту навантаження з урахування реальних вимірювань вихідної координати системи та динамічних моделей двигуна, тиристорного перетворювача та датчика вихідної координати системи.

8. Для багатьох технологічних об'єктів, зокрема для прокатних станів, вимірювання вихідної координати – швидкості обертання прокатних валків є суттєвою науково технічною проблемою. Не зрозуміло, чим можна використовувати результати досліджень для цього випадку?

9. Результати комп'ютерного моделювання доцільно було б доповнити результатами експериментальних досліджень на стенді, або діючому обладнанні, що додатково підтвердило б достовірність та ефективність розробленого методу синтезу електромеханічних систем, що містять в кінематичних ланках пару тертя.

10. При огляді літератури за темою дисертації та досягнень різних вчених слабо проаналізований внесок вчених з розвинутих країн світу (США, європейських країн, Японії тощо).

11. Пункт наукової новизни «Результати моделювання у середовищі MATLAB/Simulink розімкненої та замкнутої системи з квазінейрорегулятором у типових режимах роботи підтвердили адекватність результатів теоретичним положенням роботи та фізичній сутності досліджуваних динамічних процесів» доцільно винести у практичні результати роботи.

Вказані недоліки не впливають на загальну позитивну оцінку виконаної роботи. Дисертація є актуальною і має високу наукову цінність та практичну значущість.

ВИСНОВОК

Дисертаційна робота Беляєва Олега Сергійовича «Синтез двомасової електромеханічної системи з нелінійним фрикційним навантаженням і квазінейрорегулятором» за своїм змістом відповідає спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, яка розв'язує важливу науково-практичну задачу, яка полягає в розробці нової та удосконаленні існуючих методик синтезу квазінейрорегулятора для двомасової електромеханічної системи з пружним кінематичним зв'язком і нелінійним фрикційним навантаженням, що забезпечує усунення фрикційних автоколивань.

Подана дисертаційна робота «Синтез двомасової електромеханічної системи з нелінійним фрикційним навантаженням і квазінейрорегулятором» Беляєва О. С. відповідає спеціальності спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, відповідає вимогам до дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора філософії, а саме вимогам пунктів 6, 7, 8 і 9 Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії, затвердженого Постановою КМУ від 12.01.2022 р. №44, а здобувач Беляєв Олег Сергійович заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка.

Офіційний опонент

Професор кафедри електромеханічних та комп'ютерних систем Бахмутського навчально-наукового професійно-педагогічного інституту Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна,
д.т.н., професор

Борис КУЗНЕЦОВ

