

ВІДГУК

офіційного опонента професора кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка доктора технічних наук, доцента Тимчука Сергія Олександровича на дисертацію Дудника Олексія Валентиновича "Оптимальні системи керування перехідними процесами енергозощаджуючих об'єктів зі змінними параметрами", подану на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.03 – системи та процеси керування

Актуальність теми дисертації. Аналіз сучасного стану розвитку систем автоматичного керування показує, що наразі стоїть задача не тільки забезпечення певних показників якості технологічного процесу, а і енергоефективності. Особливий інтерес викликають системи керування електроприводами оскільки на їх долю приходить близько половини загально споживаної електроенергії. Значна кількість технологічного обладнання на підприємствах України використовує електроприводи постійного струму, які в ході технологічного процесу перебувають у нестационарних режимах. Оптимальне керування нестационарними режимами електроприводів є джерелом додаткової економії електроенергії, а також забезпечення потрібної якості продукції. Керування в реальному часі тісно пов'язане з розв'язанням задачі оперативної ідентифікації стану об'єкту керування. Застосування для ідентифікації апарату штучних нейронних мереж є одним з ефективних методів, що наразі розвиваються в практичному плані. Як оптимальне керування перехідними процесами в нестационарних об'єктах, так і ідентифікація їх стану в реальному масштабі часу є актуальними задачами. Відповідно ці науково-практичні задачі визначили тему дисертаційної роботи.

В дисертації обґрунтовані мета, об'єкт та предмет наукових досліджень.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами та темами. Дослідження, результати яких викладені в дисертації, проводилися на кафедрі автоматики та управління в технічних системах НТУ «ХП» відповідно до держбюджетної науково-дослідної роботи МОН України «Розробка методів цифрової обробки біометричних сигналів та зображень» (Д.Р. № 0106U001488) та госпдоговірною темою «Дос-

лідження принципів побудови та розробка алгоритмів робастно-оптимального керування електроприводами СКЗ реакторів В-320» (АТ Хартрон, м. Харків), в яких здобувач був виконавцем окремих етапів.

Ступінь обґрунтованості та достовірності наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації. У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовано мету, задачі досліджень, об'єкт та предмет дослідження, наукову новизну та практичне значення отриманих результатів.

У першому розділі, аналізуючи економічний стан енергоємного виробництва, зокрема металопрокату, на Україні, автором робиться висновок, що основним споживачем електроенергії (до 60%) є електропривод промислових установок, який більшу частину часу працює в старт-стопному режимі. Зниження витрат енергії на перехідних процесах, при умові підтримання інтенсивності виробництва дозволить в кінцевому підсумку зменшити собівартість продукції. Досить детально розглянута структура реверсивного прокатного стану та його режими роботи, принцип побудови систем керування приводом прокатного стану. На основі такого аналізу автором доводиться, що мінімізувати витрати енергії при збереженні швидкодії можна із застосуванням сучасних мікропроцесорних систем керування. Аналогічна задача може бути розв'язана і відносно інших об'єктів керування, зокрема системи стабілізації та наведення модуля озброєння легкоброньованих машин.

На основі огляду літератури автором відзначено, що суттєвого зменшення витрат енергії під час перехідних процесів можна досягнути шляхом використання виведених керувань, які забезпечують трансформацію діаграм фазових координат, додаючи інтервали енергозаощадження. Автором справедливо пов'язується оптимальне керування з розв'язанням проблеми ідентифікації параметрів об'єкта керування.

Проведений аналіз дозволив автору обґрунтувати перспективність застосування виведених керувань перехідними процесами в електроприводах та застосування для ідентифікації параметрів об'єкту керування в реальному масштабі часу рекурентної нейронної мережі Елмана, відповідно досить чітко і логічно обрати напрямок подальших досліджень, провести уточнення мети, та окремих задач дисертаційної

роботи.

Другий розділ присвячений побудові математичної моделі позиційного електроприводу, обґрунтування критерію оптимальності і розв'язання задачі в загальному вигляді.

Автором сформовано математичну модель силової частини позиційного електроприводу постійного струму, що складається з тиристорного перетворювача, двигуна незалежного збудження і кінематичної схеми, що описується в відносних одиницях чотирма лінійними диференціальними рівняннями першого порядку. Також введено обмеження на фізичні величини (фазові координати).

Для ідентифікації параметрів двигуна постійного струму автором запропоновано представити його у вигляді рекурентної нейронної мережі Елмана і встановлено математичний зв'язок між ваговими коефіцієнтами вхідного і внутрішнього шарів і фізичними параметрами двигуна. По мірі навчання мережі відбувається корекція її коефіцієнтів, що дозволяє визначати значення параметрів в реальному масштабі часу.

Обґрунтувавши певні спрощення, автор обрав основний критерій оптимальності у вигляді інтеграла від квадрата струму ланки якоря, тобто теплові втрати. Також у якості другого критерію, або обмеження розглядається час перехідного процесу. Між тим ці критерії не можуть розглядатись як незалежні. Це підтверджує вираз (2.44). А при обмеженнях технологічного процесу ці критерії протирічають один одному, що частково автор відобразив на рис. 3.9.

В решті у дисертації розглядається задача мінімізації витрат енергії в позиційному електроприводі при врахуванні обмежень на координати і час перехідного процесу для основного критерію якості. Для розв'язання варіаційної задачі стосовно до лінійних неперервних систем невисокого порядку автор використовує відрізки екстремалі, що не описуються принципом максимуму Понтрягіна, тобто вироджені керування. Наявність таких інтервалів, їх тривалість і кут нахилу струмової діаграми забезпечують зниження витрат енергії.

У третьому розділі автором розглядаються окремі випадки визначення вироджених управлінь з урахуванням обмежень. Отримані при цьому шість алгоритмів

оптимального керування відрізняються один від одного місцем розташування та кількістю інтервалів виродженого керування, які забезпечують енергозбереження.

Автором визначено, що кожен алгоритм керування існує в певному діапазоні допустимих тривалостей перехідного процесу оскільки зменшення витрат енергії, яке має місце при збільшенні тривалості перехідного процесу має екстремум.

У четвертому розділі вирішується задача синтезу системи оптимального керування і виконується порівняльне математичне моделювання оптимального алгоритму керування, запропонованого в даній дисертації з класичним алгоритмом трапецієподібного керування по швидкості. Оскільки вибір алгоритму і його реалізація повинні виконуватися в реальному часі, то з метою прискорення процесу в дисертації запропоновано виконати попередній розрахунок простору енерговитрат. Цей простір містить інформацію про дотримання алгоритмів оптимального керування при різних кутах повороту і тривалостях процесу.

Автором запропоновано для реалізації енергозберігаючих законів виконати систему керування у вигляді дворівневої ієрархічної структури, де на верхньому рівні знаходиться ЕОМ з досить високою швидкодією і великим обсягом ПЗУ, яка одержує інформацію про технологічний процес, а на нижньому рівні знаходиться контролер параметрів об'єкта та формування керуючого сигналу.

Секція ідентифікації включає в себе ШНМ-модель об'єкта, побудовану на базі рекурентної мережі Елмана, блоку навчання і додаткового ідентифікатора. Так як регулятор (ПК) може бути віддалений від об'єкта на значну відстань (сотні метрів). Лінія зв'язку, що запропонована автором, містить стандартний інтерфейс RS232, драйвер інтерфейсу RS485, кабель вита пара, драйвер інтерфейсу RS485, локальний мікроконтролер і цифро-аналоговий перетворювач. Автор стверджує, що стандарт RS485 забезпечує передачу даних по кабелю на відстань до 1200 метрів. На наш погляд, в умовах металургійного виробництва кабель вита пара не повинен перевищувати довжину 500 м. В якості кабеля слід було б використати більш сучасні, адаптовані під інтерфейс RS485, наприклад Belden 3106A (до 1000 м). Або застосувати оптоволоконний кабель.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій,

наведених у дисертації, підтверджується: коректним використанням фундаментальних положень теорії автоматичного управління для обґрунтування критерію оптимальності; методів рішення задач математичної фізики, обчислювальних методів для пошуку оптимального керування, меж існування розроблених алгоритмів; теорії електромашин при побудові математичних моделей електроприводу, методів штучних нейромереж, теорії ідентифікації при розробці моделі приводу для ідентифікації його параметрів.

У загальнотеоретичному плані в дисертації в певному сенсі розвинені положення теорії особливих керувань щодо використання її при побудові енергоощадних систем керування перехідними процесами в електроприводах.

Новими науковими результатами, отриманими в дисертації Дудника О. В. є:

- отримав подальший розвиток метод розрахунку оптимальних алгоритмів керування за витратами енергії і по швидкодії з урахуванням обмежень фазових координат для позиційного електроприводу постійного струму;
- вперше були визначені межі існування алгоритмів керування для складної моделі позиційного електроприводу, що дозволило прискорити процес вибору оптимального алгоритму керування за витратами енергії і по швидкодії на етапі складання технологічної програми;
- удосконалено модель позиційного електроприводу постійного струму на основі рекурентної ШНС Елмана за рахунок використання лінійних функцій активації та зменшення кількості координат;
- отримав подальший розвиток метод ідентифікації параметрів електропривода на основі рекурентної ШНС в реальному масштабі часу за рахунок застосування комбінованого методу ідентифікації на початковому етапі навчання мережі.

Практичне значення одержаних результатів для керування енергозберігаючими об'єктами зі змінними параметрами полягає в підвищенні ефективності роботи позиційного електроприводу завдяки зниженню витрат енергії при збереженні продуктивності, що ґрунтується на застосуванні алгоритмів енергозберігаючого керування при ідентифікації параметрів в реальному часі.

Результати дисертаційної роботи впроваджено: при створенні системи ке-

рування тренажерними комплексами танку БМ «Оплот» та бронетранспортера БТР-4 на ДП «ХКБМ» для ідентифікації параметрів електропривода і формування оптимального керуючого впливу на виконавчий пристрій модуля наведення озброєння. Основні положення дисертаційної роботи використовуються в навчальному процесі на кафедрі автоматики та управління в технічних системах НТУ «ХП» при дипломному проектуванні й викладанні дисциплін «Теорія автоматичного керування», «Сучасні проблеми і методи математичного та комп'ютерного моделювання».

Завершеність, стиль викладання, публікації. Аналіз сукупності наукових та практичних результатів, представлених у дисертаційній роботі Дудника О. В., дозволяє зробити висновок про їх внутрішню єдність і засвідчує особистий внесок автора в науку. Він полягає в тому, що здобувач удосконалив методи та засоби підвищення ефективності систем керування перехідними процесами в енергоощадних об'єктах із змінними параметрами та обмеженнями на керовані координати шляхом корекції діаграм електричного струму.

Дисертаційна робота написана зрозуміло і грамотно, науково-технічна термінологія використовується логічно та коректно. Щодо стилю подання матеріалу зауважень немає.

Основні результати досліджень опубліковані досить повно на потрібному рівні у 18 наукових публікаціях (10 статей у наукових фахових виданнях України, 1- у закордонному фаховому виданні, 7 – у матеріалах конференцій) та пройшли апробацію на міжнародних науково-технічних конференціях та семінарах.

Зміст автореферату відповідає основним положенням та висновкам, зробленими у дисертації, а дисертаційна робота Дудника О. В. відповідає паспорту спеціальності 05.13.03 – системи та процеси керування за п.2 - моделювання, оптимізація та адаптація керованих процесів як слабо формалізованих (на основі самонавчання, розпізнавання, тощо), так і відносно добре вивчених (процесів керування рухомими об'єктами різного призначення), п.3 - алгоритмічне та інформаційне забезпечення систем і процесів керування й систем підтримки прийняття рішень на підставі процедур оптимізації та адаптації.

Недоліки та зауваження. Основними недоліками та зауваженнями дисертації

є:

1. Двигун постійного струму незалежного збудження є добре відомим лінійним об'єктом, для якого напрацьовані прості та надійні методи ідентифікації. Використання ідентифікатора на базі рекурентної нейронної мережі не здається доцільним, за умови відсутності у роботі кількісних показників, підтверджуючих його ефективність.

2. У роботі не наведено методу навчання рекурентної нейронної мережі, що використовується у ідентифікаторі; відсутні відомості про швидкість та точність навчання мережі.

3. Автором у другому розділі запропоновано два критерія оптимальності: втрати електроенергії та час перехідного процесу. Між тим ці критерії не можуть розглядатись як незалежні. Це підтверджує вираз (2.44). А при обмеженнях технологічного процесу ці критерії протирічать один одному, що частково автор відобразив на рис. 3.9.

4. В дисертації відсутнє порівняння отриманих у роботі результатів з сучасними закордонними досягненнями в галузі оптимального керування блюмінгом.

5. В четвертому розділі автор стверджує, що стандарт RS485 забезпечує передачу даних по кабелю вита пара на відстань до 1200 метрів. На мій погляд, в умовах металургійного виробництва це твердження є сумнівним (максимум 500 м). В якості кабеля слід було б використати більш сучасні, адаптовані під інтерфейс RS485, наприклад Belden 3106A (до 1000 м). Або застосувати оптоволоконний кабель.

6. У дисертації та авторефераті дисертації зустрічаються окремі орфографічні, стилістичні помилки, а також помилки перекладу.

Але вище означені недоліки та зауваження не впливають на загальний позитивний висновок щодо даної дисертації.

Загальні висновки. Дисертаційна робота Дудника О. В. є завершеною науково-дослідницькою працею, в якій отримано нові науково-обґрунтовані результати, що в сукупності вирішують науково-прикладну задачу оптимізації керування перехідними процесами енергоощадних об'єктів зі змінними параметрами при враху-

ванні обмежень на фазові координати. Дисертація відповідає вимогам п.п. 9, 11, 12 “Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника”, а її автор, Дудник О. В., заслуговує присудження йому наукового ступеня кандидата технічних наук.

Офіційний опонент:

професор кафедри автоматизації та
комп'ютерно-інтегрованих технологій
Харківського національного технічного
університету сільського господарства
ім. П. Василенка,
доктор технічних наук, доцент

С. О. Тимчук

С. О. Тимчук



Відзив надійшов «14» 06. 2016 р.
Вчений секретар спец. ради А 64.050-14



Ліберг І. Г.