

## ВІДГУК

офіційного опонента

канд. техн. наук, доц. Яловеги Ірини Георгіївни

на дисертацію Мірошниченко Галини Анатоліївни

«Математичне моделювання процесів керування електроприводом»,

подану на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи

### Актуальність теми дисертації

Світовий досвід створення нового технологічного обладнання та його модернізації показує стійку тенденцію розвитку автоматизованих приладів, комп'ютерних систем автоматизації та регульованих приводів. Це пояснюється прагненням до максимальної продуктивності і одночасного здешевлення виробництва, що в будь-який час залишається актуальним. Конкурентоспроможність промисловості країни прямо залежна від модернізації виробництва та відповідного збільшення продуктивності праці. Питання розвинення систем, призначених для керування та контролю над процесами перетворення механічної енергії в електричну та в зворотний бік, набуває важливого значення для всієї промисловості без виключення. На сучасному етапі розвитку науки і техніки системи електроприводу міцно займають лідируюче положення серед приводних пристроїв і забезпечують безперебійну і надійну роботу технологічних механізмів у багатьох галузях промисловості і спеціальної техніки. Конструкцію жодної сучасної електричної машини неможливо уявити без електроприводу. При цьому обмеженість України в енергоресурсах вимагає якнайліпшого вирішення проблеми енергозбереження, що потребує постійного вдосконалення систем, які споживають електроенергію.

На сьогодні існують дві основні тенденції розвинення електронної техніки: по-перше, спостерігається стрімке поліпшення характеристик, по-друге, постійне вдосконалення технічних систем управління, підвищення вимог до стабільності, надійності і точності характеристик, зниження енергоспоживання, маси і розмірів. Системи керування електроприводом є невід'ємною частиною механізму, і особливо актуальною проблемою стає покращення точності роботи керованого електроприводу. Раціональне поєднання теорії і алгоритмічної бази дозволяє найбільш гармонійно побудувати процес проектування складних сис-



тем керування електроприводами, і саме в руслі розвитку цієї концепції лежить дисертаційна робота. Проблема пошуку якомога точніших розв'язків, поліпшення наближення в задачах оптимального керування завжди залишається актуальною науково-технічною задачею. Тому розробка нових методів розв'язання задач оптимального керування електроприводом, які дозволять підвищити точність наближення, стає рішенням цієї важливої проблеми.

Дисертаційне дослідження виконано згідно тематичного плану в межах виконання науково-дослідної роботи «Побудова математичних моделей для управління технологічними процесами» та пріоритетного напрямку розвитку науки і техніки Міністерства освіти і науки України «Новітні технології, ресурсозберігаючі технології в енергетиці, промисловості та агропромисловому комплексі».

### **Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації, їх достовірність та новизна**

Наукові положення, отримані результати дослідження, висновки і рекомендації ґрунтуються на коректному застосуванні основних положень фундаментальних законів електротехніки, теорії електроприводу, теорії керування, чисельних методів моделювання електромеханічних процесів в складних системах, загальних методах функціонального аналізу, теорії диференціальних рівнянь. Обґрунтовано доцільність розробки методу наближеного розв'язання задачі оптимального керування в нормі  $W_2^1[0,1]$  та новизну запропонованого підходу до вирішення проблеми дослідження. Запропонований метод було застосовано для наближеного розв'язання задачі оптимального керування мінімізацією витрат енергії при повороті валу двигуна на заданий кут за даний час. Всі наукові положення, висновки і рекомендації дисертаційної роботи є строго обґрунтованими і підтвердженими збіжністю результатів розрахунку з експериментальними результатами.

Основні положення наукової новизни одержаних в дисертації результатів досліджень полягають в наступному:

– вперше запропоновано метод наближеного розв'язання задачі оптимального керування слідкуючим електроприводом з використанням сплайн-функцій;

– набув подальшого розвитку метод найкращого наближення функції однієї змінної сплайнами першого порядку в нормі  $W_2^1[0,t]$  для розв'язання задачі

Коші для системи звичайних диференціальних рівнянь та задачі оптимального керування слідкуючим електроприводом;

– удосконалено метод розв’язання задачі Коші для системи диференціальних рівнянь з правими частинами у вигляді поліноміальних функцій шляхом вибору базисних степеневих функцій, що дозволило забезпечити високу точність наближення в нормі простору  $L_2[0,1]$ .

Наукові положення дисертаційної роботи підтверджуються результатами експериментальних досліджень, а також наведеними у додатках актами впровадження.

### **Повнота викладення результатів досліджень в опублікованих працях**

Основні результати дисертаційної роботи викладені в 17 друкованих працях, з яких 5 статей у фахових наукових виданнях (серед них 1 стаття в журналі, який включено до бази даних американського інституту наукової інформатики Томсона (ISI) та до реферативної бази даних Scopus), та 12 матеріалах конференцій і симпозіумів. Опубліковані роботи повністю відображають основні наукові положення та практичні результати дисертаційної роботи.

Автореферат адекватно відображає зміст дисертації.

Матеріал дисертації відповідає вимогам до дисертаційних робіт та відзначається логічністю і послідовністю викладення. Роботу викладено у вступі та чотирьох розділах, в яких повністю розкрито тему дослідження.

У вступі обґрунтовано актуальність теми дослідження, сформульовано мету, завдання дослідження, наукову новизну та практичну цінність. Розгорнутий аналіз публікацій за темою дисертації проведено в першому розділі. Виділено основні проблеми дослідження на основі аналізу сучасного стану моделювання електроприводів та аналітичного огляду методів наближеного розв’язання задач керування. Обґрунтовано вибір напрямку дослідження. В другому розділі наведено постановку задачі оптимального керування, представлено класичні методи наближеного розв’язання задач оптимального керування та наведено основні твердження, що обґрунтовують метод розв’язання задачі Коші для системи звичайних диференціальних рівнянь. Матеріали третього розділу містять дослідження методу розв’язання задачі керування електроприводом для функціонала типу  $\int_0^T (x^2(t) + u^2(t))dt \rightarrow \min_{u \in \Omega}$ ; розробку загального методу побудови функціоналу, пов’язаного з нормою простору  $W_2^1[0,t]$ , мінімізація якого надає можливість із заданою точністю знайти наближений розв’язок задачі керуван-

ня; основні твердження методу та порівняльний аналіз запропонованого методу з методом дослідження оптимального керування в динаміці генних мереж. В четвертому розділі наведено тестування запропонованого методу, проведений аналіз обчислювального експерименту застосування методу до розв'язання задачі Коші для систем звичайних лінійних диференціальних рівнянь та задачі керування електроприводом.

### **Практичне значення отриманих результатів**

Задача мінімізації витрат енергії в електроприводі – системі, без якої неможливо уявити сучасну електричну машину, є незаперечно важливою в умовах постійного вдосконалення систем, які споживають електроенергію. При стрімкому зростанні світового попиту на енергоресурси енергоефективність на міжнародному рівні визнано як основний пріоритет енергетичних стратегій. Практичне значення розробленого в дисертаційній роботі обчислювального методу наближеного розв'язання задачі мінімізації витрат енергії в електроприводі полягає у створенні нових алгоритмів та розширенні функціональних можливостей програмного продукту для розв'язання задач керування електроприводом.

Запропонований обчислювальний метод було впроваджено в розробках підприємства ПАТ «Електромашина» та впроваджено у навчальний процес на кафедрі вищої та прикладної математики Української інженерно-педагогічної академії при викладанні дисципліни «Теоретичні, фізичні та інформаційні основи галузевих знань», що підтверджено актами впровадження.

### **Зауваження до роботи**

1. Підрозділ 2.2 носить оглядовий характер і його доцільно було б розмістити в розділі 1.

2. У розділах 2 – 4 помітна розбіжність в позначеннях: у диференціальних рівняннях без керування невідомі функції залежать від просторової змінної  $x$ , а у випадку розв'язання задачі керування електроприводом фазові координати позначені через  $x_k(t)$  та невідомі функції керування через  $u_j(t)$ .

3. В підрозділі 3.4 дисертаційної роботи не зроблено чітких висновків щодо порівняння запропонованого методу з методом дослідження оптимального керування в динаміці генних мереж.

4. На сторінці 96 і далі не до кінця зрозуміла індексація у функціях  $\psi_{k,\ell}(x) = x^\ell$ ,  $\ell = 0, 1, 2, \dots$ , а саме, що позначається першим індексом.

5. В дисертації не достатньо повно проаналізовано питання точності запропонованого методу при розв'язанні задачі Коші для системи диференціальних рівнянь та при розв'язанні задачі керування електроприводом.

6. В авторефераті рисунки 3, 4 та 6 не задовільної якості, з них не ясна відмінність графіків точного і наближеного розв'язків наведених задачах.

### Висновок

Дисертаційна робота Г. А. Мірошніченко «Математичне моделювання процесів керування електроприводом» є завершеною кваліфікаційною науковою працею, в якій знайдено рішення актуальної наукової задачі розробки нових методів наближеного розв'язання задач оптимального керування електроприводом, які дозволяють отримувати більш високу точність наближення. Отримано науково-обґрунтовані теоретичні результати, підтверджені обчислювальними експериментами, які мають важливе значення в галузі математичного моделювання та обчислювальних методів.

За актуальністю задачі, науковою новизною, обсягом, рівнем і повнотою виконаних досліджень, а також обґрунтованістю практичних висновків та рекомендацій дисертаційна робота відповідає вимогам до кандидатських дисертацій. Вказані зауваження не значно впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи.

Представлена дисертаційна робота відповідає пунктам 9, 11, 12 «Порядку присудження наукових ступенів», а її авторка Мірошніченко Галина Анатоліївна заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи.

Канд. техн. наук, доцент,  
доцент кафедри математики  
Харківського національного  
педагогічного університету  
імені Г. С. Сковороди

І. Г. Яловега

