

## ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Гуди Антона Ігоровича на тему «Ансамблеві пошукові моделі і методи параметричної ідентифікації систем з хаотичною поведінкою», подану на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 01.05.02 — математичне моделювання та обчислювальні методи

### **Актуальність теми.**

Під час проектування складних технічних об'єктів ми зустрічаємось із нелінійними системами. Існує такий клас нелінійних систем, в яких під дією випадкових внутрішніх або зовнішніх збурень, виникають динамічні процеси хаотичного типу. Це означає, що такі нелінійні системи суттєво підсилюють збурюючі впливи порівняно із керуючими впливами. Для ідентифікації їх параметрів методи класичної теорії автоматичного керування, які ґрунтуються на мінімізації середньоквадратичної похибки, виявляються неефективними. Основна проблема полягає у тому, що під час ідентифікації параметрів на одержані результати суттєво впливають хаотичні процеси, які критично знижують точність результату. Для уникнення такої проблеми необхідно для систем із хаотичною динамікою розробити, по-перше, нові критерії відповідності між реальним об'єктом та математичною моделлю і, по-друге, використовуючи отримані критерії відповідності, удосконалити методи ідентифікації параметрів моделі.

Тематика дисертаційної роботи відповідає пріоритетному напрямку розвитку науки і техніки на період до 2020 року «2) інформаційні та комунікаційні технології», відповідно до Закону України «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки» від 11.07.2001 р. № 2623-III та пріоритетному тематичному напрямку наукових досліджень і науково-технічних розробок «Технології та засоби математичного моделювання, оптимізації та системного аналізу розв'язання надскладних завдань державного значення», відповідно до Постанови Кабінету Міністрів України «Про затвердження переліку пріоритетних тематичних напрямів наукових досліджень і науково-технічних розробок на період до 2020 року» від 07.09.2011 № 942.

Окрім того тематика дисертаційної роботи пов'язана із виконанням науково-дослідних робіт «Вдосконалення технології утилізації в металургійній промисловості матеріальних і енергетичних відходів» (№ держреєстрації 0113U03266), «Дослідження та імітаційне моделювання процесів нелінійної динаміки формування фрактальних структур функціональних покриттів» (№ держреєстрації 0110U03240), «Наукове обґрунтування та розробка ефективних тепло-масообмінних процесів в інноваційних металургійних технологіях» (№ держреєстрації 0115U03176).

## **Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій. Достовірність результатів досліджень.**

Основні наукові положення роботи обґрунтовано в достатній мірі. Запропоновані моделі та методи для ідентифікації параметрів систем динамічного хаосу докладно обґрунтовано теоретичними викладками та експериментальними дослідженнями.

Достовірність одержаних результатів визначається коректним застосуванням математичного апарату теорії автоматичного керування, теорії динамічного хаосу, чисельних обчислювальних методів оптимізації та ін. Результати, одержані у роботі, узгоджуються із відомими у науковій літературі методами ідентифікації параметрів нелінійних систем.

### **Наукова новизна отриманих результатів.**

#### 1. Вперше:

- запропоновано критерії для ідентифікації параметрів нелінійних динамічних систем із хаотичною динамікою, які на відміну від існуючих не використовують енергетичні критерії;
- створено методи ідентифікації на підставі адаптивно-пошукової парадигми з використанням ансамблю пошукових агентів, які порівняно із іншими методами більш ефективні та більш адекватні;
- створено нову класифікацію методів ідентифікації динамічних систем, яка є більш універсальною, порівняно із існуючими класифікаціями;
- визначено, що системи з сухим тертям з точки зору задачі ідентифікації параметрів за певних умов, мають властивості подібні до систем із хаотичною динамікою, що не розглядалось у попередніх дослідженнях;
- запропоновано модель системи із хаотичною динамікою з використанням зв'язаних релаксаційних генераторів, яка відрізняється від існуючих відсутністю індуктивних компонентів, працездатністю при малих напругах та можливістю керування частотним діапазоном у широкому інтервалі.

#### 2. Набуло подальший розвиток:

- підходи до адаптації параметрів систем ансамблевої ідентифікації, які придатні використовувати поточну інформацію від ансамблю моделей та коригувати глобальні параметри пошуку в умовах апріорної та поточної невизначеності;
- модель генератора Колпітца, яка враховує більшу кількість нелінійних ефектів, що забезпечує, порівняно із іншими моделями, більш адекватні результати процесу ідентифікації її параметрів.

### **Значущість отриманих результатів для науки і практичного використання.**

Одержані результати у подальшому доцільно використовувати для подальших наукових досліджень у напрямку розроблення методів для ідентифікації параметрів нелінійних систем. Практичне використання одержаних результатів має місце під час проектування та налаштуванні параметрів систем керування для об'єктів динамічного хаосу, зокрема, систем, пов'язаних із обробкою вібраційних та акустичних впливів. Створене програмне забезпечення використовується для моделювання нелінійних динамічних систем під час проведення лабораторних та практичних робіт з навчальних дисциплін «Моделювання систем», «Сучасні системи управління» на кафедрі інформаційних технологій і систем Національної металургійної академії України.

### **Повнота викладення результатів в опублікованих матеріалах.**

Результати дисертаційної роботи опубліковано в 50 наукових працях, з яких 36 статей у фахових наукових журналах і збірниках наукових праць України та інших держав. Серед зазначених публікацій, 29 фахових статей опубліковано у журналах, які входять до наукометричних баз Scopus (1), Index Copernicus (8) та РІНЦ (20).

Результати роботи пройшли широку апробацію на всеукраїнських та міжнародних конференціях. В опублікованих працях викладено основні отримані здобувачем результати. Рівень та кількість публікацій відповідають вимогам, що ставляться до докторських дисертаційних робіт.

### **Структура та зміст дисертації.**

Дисертацію викладено на 350 сторінках, із яких 301 сторінка основного тексту. Робота складається зі анотації українською та англійською мовами, списку публікацій здобувача, змісту, списку умовних позначень, вступу, шести розділів, висновків, списку використаних джерел, що включає 156 найменувань, та трьох додатків, який містять 2 акти про впровадження.

*У першому розділі* виконано огляд стану проблеми. Означено основні поняття задачі ідентифікації динамічних систем та оглянуто відомі у науковій літературі методи ідентифікації нелінійних динамічних систем. Зокрема, метод синхронного детектора, метод ідентифікації зі змінною частотою пробного впливу, метод випадкового пошуку, адаптивно-пошукові підходи тощо. Наприкінці розділу докладніше сформульовано задачі дослідження.

*У другому розділі* розглянуто пошукові методи ідентифікації параметрів. На початку розділу описано в загальному постановку задачі параметричної ідентифікації, а також критерії ідентифікації. Далі описано основні поняття і параметри пошукових систем ідентифікації, їх структуру, а також властивості, параметри і алгоритми роботи пошукових агентів та пошукових

координаторів. Запропоновано класифікацію та показники якості систем ідентифікації. Наприкінці розглянуто декілька тестових моделей.

У *третьому розділі* описано програмне забезпечення, призначене для моделювання нелінійних динамічних систем. Зокрема, подано принципи побудови та опис інтерфейсу користувача програмного забезпечення.

У *четвертому розділі* подано докладний аналіз та опис процесу ідентифікації параметрів для тестових систем із хаотичною динамікою. Зокрема, розглянуто систему Лоренца, систему SprottA, систему Чуа, систему з сухим тертям, систему Дуффінга, систему Ресслера, систему Ван-дер-Поля та коливальну систему з гістерезисом в силі. Для кожної із розглянутих систем проаналізовано її динаміка, критерії оцінки, вибрано тестові задачі, оцінено вплив параметрів ідентифікації на похибку ідентифікації.

У *п'ятому розділі* подано аналіз та ідентифікацію параметрів системи Колпітца. Зокрема, описано класичну та удосконалену моделі генератора, їх фізичні реалізації, процеси ідентифікації їх параметрів та моделювання. Проаналізовано вплив параметрів ідентифікації на похибку ідентифікації.

*Шостий розділ* присвячений моделюванню та ідентифікації параметрів пов'язаних релаксаційних генераторів. Зокрема, подано опис та застосування типових систем релаксаційних генераторів: на парі біполярних транзисторів, на парі компліментарних транзисторів, на основі тригерів Шмідта. Створено моделі систем з трьох пов'язаних релаксаційних генераторів, обрано критерії ідентифікації їх параметрів та ідентифіковано параметри таких систем.

### **Аналіз автореферату**

Автореферат ідентичний за змістом до дисертації і достатньо повно відображає основні наукові положення, практичну цінність та одержані результати. Дисертаційна робота та автореферат оформлені у відповідності до вимог, що висуваються нормативними документами МОН України.

### **Зауваження до роботи.**

1. Викликає сумнів таке строге формулювання першого пункту наукової новизни. Ідентифікацією параметрів систем із хаотичною динамікою до здобувача займались інші дослідники, які успішно використовували свої критерії для досягнення поставлених задач. Підпункт вимагає уточнення.
2. Шостий пункт наукової новизни повинен бути поглинутий другим пунктом наукової новизни або розтлумачений більш ретельно.
3. Під час аналізу тестових систем із хаотичною динамікою не виконано аналіз похибок для результатів вимірювання.
4. Для оцінки ефективності запропонованих методів ідентифікації параметрів рекомендується аналітично вивести, або хоча б оцінити, залежність похибки ідентифікації параметрів системи від параметрів вибраного методу ідентифікації.

5. До роботи висувається ряд нормативних зауважень. Завдання, наукова новизна та висновки до роботи не є в достатній мірі узгодженні між собою. У завданні відсутній пункт, пов'язаний із оглядом літератури. Об'єкт дослідження слід переформулювати так, щоб із нього чітко було зрозуміло, яке явище або який процес досліджує дисертант.
6. У роботі присутні незначні орфографічні, пунктуаційні та стилістичні неточності. Наприклад, в авторефераті, стор. 9, абзац 4 згори «У цієї роботі...»; стор. 12, абзац 1 знизу «Цій метод...» і т.д.

Дисертація в цілому, незважаючи на висловлені зауваження, справляє досить позитивне враження і є суттєвим внеском в галузь математичного моделювання та ідентифікації параметрів моделей складних технічних систем із хаотичною динамікою.

### **Загальні висновки.**

Дисертаційна робота Гуди Антона Ігоровича на тему «Ансамблеві пошукові моделі і методи параметричної ідентифікації систем з хаотичною поведінкою» є завершеною науковою працею, в якій отримані нові наукові та практичні результати, що вирішують науково-прикладну проблему ідентифікації параметрів складних технічних систем із хаотичними динамічними характеристиками.

Дисертаційна робота за своїм змістом відповідає вимогам п.п. 9, 10, 12 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника» щодо докторських дисертацій, а її автор, Гуда Антон Ігорович, заслуговує на присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 01.05.02 — математичне моделювання та обчислювальні методи.

### **ОФІЦІЙНИЙ ОПОНЕНТ:**

доцент кафедри систем  
автоматизованого проектування  
Національного університету  
«Львівська політехніка»,  
доктор технічних наук,  
старший науковий співробітник



Щербовських С.В.

Підпис д.т.н., с.н.с. Щербовських С. В. засвідчую.

Вчений секретар  
Національного університету  
«Львівська політехніка»,  
кандидат технічних наук, доцент




Брилинський Р. Б.