

## ВІДГУК

на дисертаційну роботу Валіда Ахмеда Махмуда Альрефаі  
**«МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОБЧИСЛЮВАЛЬНІ МЕТОДИ АНАЛІЗУ ПРОЦЕСІВ СТАЛОГО РОЗВИТКУ НЕЛІНІЙНИХ ДИНАМІЧНИХ СИСТЕМ З КОНКУРЕНТНОЮ ВЗАЄМОДІЄЮ»**, що подана на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальний методи

**1. Актуальність обраної теми.** Процес розвитку технічних, економічних і соціальних систем є удосконалення взаємозв'язків всередині цих систем і їх взаємодії між собою і навколошнім середовищем, що потребує уточнення математичних моделей з урахуванням фактичної нелінійності більшості об'єктів. Цей процес призвів до виникнення нової наукової проблеми дослідження нелінійної динаміки систем з «конкурентною взаємодією», яка виникла як узагальнення поняття «зворотного зв'язку» в процесі ускладнення структури об'єктів. Нова наукова проблема дослідження умов «сталого розвитку» в техніці, економіці та суспільстві з'явилася порівняно недавно.

Слід відмітити, що тематична спрямованість дисертаційної роботи Валіда Ахмеда Махмуда Альрефаі, метою якої є забезпечення умов сталого розвитку в конкурентних системах, є часткою такої, на сьогодення актуальної наукової проблеми. Вона тепер навіть стала річчю критично важливою, особливо коли динаміка детермінованих систем зазнає коливань близьких до хаотичних.

Це робить актуальну також задачу розробки обчислювальних методів аналізу для визначення параметрів хаотичної динаміки, яка стас причиною аварії технічних систем. Дослідження цього методу, та побудові за його допомогою відповідних моделей присвячена частина дисертаційної роботи Валіда Ахмеда Махмуда Альрефаі.

Дисертаційне дослідження виконано на кафедрі прикладної математики відповідно до плану науково-дослідних робіт Харківського національного університету радіоелектроніки згідно з наказом Міністерства освіти і науки України. Робота частково пов'язана з виконанням держбюджетної теми № 293 «Розробка методології і математичних моделей соціально-економічних систем при реалізації їх стійкого розвитку», зокрема в розділі №293-4 «Розробка математичних моделей і методів управління стійким розвитком ЖКГ міста» (№ ДР 0115U001522).



## **2. Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації.**

Розроблені автором моделі та методи і результати дисертації в цілому, спрямлюють враження добре обґрунтованих шляхом коректного використання теорії систем, теорії диференціальних рівнянь, чисельного аналізу та елементів теорії катастроф. Коректною постановкою математичних задач забезпечені достовірність положень, висновків і результатів для основної та часткових моделей систем в різних галузях науки і техніки.

Таким чином, можна стверджувати, що вихідні положення дисертації є коректними, одержані результати, висновки і рекомендації математично аргументовані. Їх достовірність підкріплюється практичним впровадженням, що є перевіркою працевдатності моделей і методів.

## **3. Новизна наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації.**

У процесі вирішення поставлених завдань автором вибрано та досліджено клас математичних моделей з конкурентною або солідарною взаємодією. Їм розроблені або модифіковані моделі замкнутих систем, а також моделі неавтоно-мних систем з лагермінованим періодичним зовнішнім впливом. Розроблено методи розв'язання задач сталого зростання досліджуваних систем і уникнення їх хаотичної динаміки.

В роботі наведено положення, що складають наукову новизну. Коротко їх можливо сформулювати наступним чином :

- вперше, для виділеного автором класу нелінійних динамічних конкурентних моделей, отримані і досліджені умови існування стаціонарних множин тороподібного типу; визначені фактори, відповідальні за появу поблизу них квазі-хаотичних режимів, що призводять до катастроф в технічних системах;
- вперше запропоновано динамічні моделі, які описують паралельне вмикання насосних агрегатів насосної станції, що відрізняються від відомих урахуванням їх нелінійних зв'язків;
- отримали подальший розвиток математичні моделі для декількох конкуруючих акторів, що дозволило визначити швидкість зростання станів підсистем при різних типах і параметрах інтенсивності їх конкуренції;
- вдосконалено чисельний метод дослідження умов появи хаотичного атрактора моделі при близькому до резонансного періодичному зовнішньому впливі.

Розроблені методи пропоновано використовувати для оцінювання станів і параметрів технічних систем, які призводять до стійкого зростання системи, або навпаки – до її небажаної квазі-хаотичної динаміки.

В роботі

– отримані розрахункові формули динаміки моделей систем для аналітичного дослідження наявних залежностей фазових портретів від біфуркаційних параметрів;

– розширення сфери застосування аналізу фазового простору на практично важливий клас систем із збуренням правої частини рівнянь.

#### **4. Повнота викладу наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації.**

Дисертаційна робота складається зі вступу, 4 розділів, висновків, списку з 119 використаних джерел та 4 додатків. Робота оформлена згідно до вимог Міністерства освіти і науки України.

У *вступі* показано актуальність проблеми, сформульовано мету та задачі дослідження, наукову новизну і практичне значення роботи. Відзначається особистий внесок автора та апробація результатів роботи.

*Перший розділ* вміщує перелік найбільш важливих теоретичних та практичних задач. Описано основні математичні моделі для конкурентної і солідарної взаємодії акторів у галузях техніки, економіці і екології. Проведено аналіз літературних джерел. Обрано клас моделей для дослідження їх динаміки.

Для побудови конкретних моделей проведено системний аналіз об'єктів енергопостачання, що взаємодіють; та розглянуто загальні проблеми моделювання конкуренції за ресурс в технічних системах.

У якості конкретної технічної системи для застосування конкурентних моделей розглянуто динаміку взаємодії двох насосних агрегатів при їх паралельному підключення в складі насосної станції.

Таким чином, обґрунтована необхідність розробки підходів до формалізації та розв'язання задач, які виникають при моделюванні широкого класу конкурентних систем, і сформульовано задачі дослідження.

У *другому розділі* запропоновано модель конкуренції в технічних та економічних системах з двома, або більше акторами. Формалізація задачі проводиться поряд з прийняттям деяких попередніх умов, припущень, обмежень. Отримана модифікація моделі Вольтерра ураховує нелінійну взаємодію її підсистем. Вона описує широкий клас об'єктів, наприклад, що відповідають за технічний стан та відновлення у разі аварії, взаємини в житло-комунальному господарстві між власником та керуючою компанією, тощо. Пропонована модель відрізняється від базової моделі структурою першого рівняння. Розглянуто також випадок, коли додається ще один виробник і третє рівняння, аналогічне за змістом першому. Отримані фазові портрети наочно демонструють динаміку систем поблизу стаціонарних точок.

У *третьому розділі* досліджено модель 2n-мірної системи до шостого порядку включно. Вона лінійна, однак проявляє складну динаміку, схожу на детермінований хаос, що трапляється у нелінійних системах. У даній роботі запропоновано модельні параметри системи з трьох акторів, при яких взаємодія

між ними призводить до фазових портретів, схожих на детермінований хаос поблизу нерезонансного тора. Зазначимо, що подібна поведінка характерна не тільки для економічних, але й, наприклад, для ергатичних систем типу «людина – машина – середовище», що містять підсистему захисту від шкідливих впливів і відновлення після аварій. А також для моделі взаємодії насосних агрегатів у системах водопостачання, що й була тут досліджена.

У четвертому розділі первісна автономна система Лотки–Вольтерра збуджується малим за амплітудою періодичним коливанням швидкості змін одного, або обох акторів цієї системи. Модель актуальна, бо безліч зовнішніх факторів можуть викликати періодичну зміну швидкості для внутрішнього стану системи.

Адекватність моделей перевірена на реальних та модельних прикладах, що поміщені в *додатках*. Також в додатках подано акти про впровадження отриманих результатів та застосування їх у навчальному процесі.

Дисертація та реферат мають логічну структуру, термінологія обґрунтована і використовується коректно. Стиль викладу зручний для аналізу та розуміння.

Слід зазначити, що більшість висновків до розділів сформульовано таким чином, що дозволяють оцінити особистий внесок автора, ступінь новизни та значимості.

Результати роботи використані при виконанні держбюджетної тематики, а також впроваджені в навчальний процес в фахових курсах «Імітаційне моделювання», «Теорія катастроф» та «Синергетичні методи в економіці», що були обрані студентами спеціальності «Системний аналіз».

Ознайомлення з дисертацією, авторефератом та копіями статей здобувача дозволяє зробити висновок про необхідну повноту опублікування наукових результатів у 15 регламентованих виданнях. З них 9 – це статті, що опубліковані в журналах, які реферуються та включені до іноземних та міжнародних наукометрических баз, репозитаріїв та пошукових систем. 7 з них є спеціалізованими виданнями, що включені до переліку МОН України. У збірниках опубліковані тези доповідей на 6 міжнародних наукових конференціях.

Зміст автореферату повністю відповідає дисертації, відбуває її основні результати та їх наукове і практичне значення.

За об'єктами і методами досліджень, та за отриманими результатами дисертація відповідає спеціальності 01.05.02 – «математичне моделювання та обчислювальні методи».

## 5. Зауваження щодо змісту дисертації та автореферату.

- Автор досліджує конкурентну взаємодію технічних та екологічних підсистем, а цілком природні застосування до економіки віднесені до додатків і згадані побіжно.

- На думку опонента, в роботі більше досліджень квазі-хаотичної поведінки конкурентних систем, ніж їх сталого розвитку.
- Не досліджено, як режим сталого, чи хаотичного розвитку залежить від початкових умов.
- В авторефераті найбільш докладно представлена третя частина, у той час, як інші дуже скорочені. По ним немає висновків.
- Є повтори однакових формул у різних частинах замість посилань. В той же час трапляються різні означення змінних та параметрів однакових моделей.
- В основному тексті роботи є велика кількість малюнків топологічно подібних фазових портретів. Досить було навести приклад реалізації для одного набору параметрів, а інші винести в додаток.

#### **6. Висновок щодо відповідності дисертації встановленим вимогам.**

Наведені вище зауваження не знижують загальної позитивної оцінки дисертації, що аргументована в попередніх розділах відзиву. Науковий рівень дисертації є високим і відповідає всім вимогам до кандидатських дисертацій.

Вважаю, що зміст, обсяг та отримані результати доводять, що дисертація Валіда Ахмеда Махмуда Альрефа «Математичне моделювання та обчислюальні методи аналізу процесів сталого розвитку нелінійних динамічних систем з конкурентною взаємодією» є завершеною науковою роботою. В ній одержані нові науково обґрунтовані результати, які в сукупності вирішують актуальну наукову задачу розробки математичних моделей та методів дослідження умов сталого зростання в конкурентних системах. Її стиль, мова викладення, та науковий рівень відповідають пп. 9, 11, 12 «Порядку присудження наукових ступенів...», а її автор заслуговує на присудження йому наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.05.02 – математичне моделювання та обчислюальні методи.

Офіційний опонент

професор кафедри математичних методів системного аналізу

Навчального-наукового комплексу

«Інститут прикладного системного аналізу» НТУУ «КПІ»

д.т.н., професор

Данилов В. Я.

