

## ВІДГУК

офіційного опонента доктора технічних наук Данилова В.Я. на дисертаційну роботу Мохаммада Ракан Абед Алнабі Альджаафрех "Математичне моделювання та обчислювальні методи дослідження ергатичних систем з динамічним захистом", що подана на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи

**1. Актуальність обраної теми.** Процес розвитку моделей технічних систем значною мірою є удосконалення взаємозв'язків всередині цих систем і їх взаємодії між собою і навколишнім середовищем, та підвищення їх безпеки, що потребує уточнення математичних моделей з урахуванням фактичної нелінійності більшості об'єктів. Цей процес сприяв виникненню нової наукової проблеми дослідження нелінійної динаміки систем з захистом, яка виникла як узагальнення поняття «зворотного зв'язку» в процесі ускладнення структури об'єктів та підсистем захисту від шкідливих чинників. Вказана наукова проблема дослідження регулярних та сингулярних систем з захистом з'явилася порівняно недавно.

Слід відмітити, що тематична спрямованість дисертаційної роботи Мохаммада Ракан Абед Алнабі Альджаафрех, метою якої є забезпечення умов ліквідації та припинення аварій та катастроф в технічних системах із шкідливими чинниками, є часткою такої, на сьогоднішній день актуальної наукової проблеми. Вона тепер навіть стала рідше критично важливою, особливо коли динаміка складних детермінованих систем зазнає коливань близьких до хаотичних.

Актуальною є також задача розробки обчислювальних методів аналізу для визначення параметрів хаотичної динаміки, яка стає причиною аварії технічних систем. Дослідженню цього методу, та побудові за його допомогою відповідних моделей присвячена частина дисертаційної роботи Мохаммада Ракан Абед Алнабі Альджаафрех.

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 фундаментальної держбюджетної теми (№ ДР 0115U001522), та госпдоговору (№ ДР 0117U 003827) для поліпшення безпеки та ефективності систем ЖКГ.

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



Розроблені автором моделі та методи і результати дисертації в цілому, справляють враження добре обґрунтованих шляхом коректного використання теорії систем, теорії диференціальних рівнянь, чисельного аналізу та елементів теорії катастроф з врахуванням системного підходу. Коректною постановкою математичних задач забезпечено 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 працездатності 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 систем з різними типами захисних підсистем. Ним розроблені або модифіковані моделі замкнутих систем, а також моделі неавтономних систем з детермінованим періодичним зовнішнім впливом. Розроблено методи розв'язання задач припинення аварійного продукування шкідливих чинників в досліджуваних системах.

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

- розроблено математичну модель ергатичних систем з динамічним захистом та її локалізовані варіанти у вигляді взаємозв'язаних диференціальних рівнянь з малим параметром;

- отримав подальшого розвитку метод побудови і аналізу сингулярної моделі з примежовим шаром шляхом побудови й оцінки точності асимптотичного розв'язку рівнянь для ергатичних систем з динамічним захистом;

- удосконалено обчислювальний метод асимптотичного наближення розв'язку задач Коші з різними типами сингулярностей і нестационарністю параметрів керування, та оцінки значень малого параметра збурення для різних швидкостей шкідливого процесу;

- за допомогою чисельного експерименту виявлено наявність необмежених хаотичних рухів в неавтономній системі поблизу періодичного руху відповідної автономної ергатичної системи з захистом при зближенні періодів коливань.

Розроблені методи пропонувано використовувати для оцінювання станів і параметрів складних технічних систем з шкідливими викидами, які надають можливість припинення, або суттєвого зменшення цих викидів за прийнятну ціну.

Результати роботи можуть знайти широке застосування при розробці підсистем захисту від шкідливих техногенних чинників, зокрема, в екологічно небезпечних виробництвах та інших системах «Людина-Машина-Середовище».

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

Дисертаційна робота має класичну структуру і складається з анотації, вступу, 4 розділів, висновків, списку з 106 використаних джерел та 3 додатків. Робота оформлена згідно до вимог Міністерства освіти і науки України. Її загальний обсяг 153 сторінки.

В *анотації та вступі* доведено актуальність проблеми, сформульовано мету, задачі дослідження, наукову новизну і практичне значення роботи. Відзначається особистий внесок автора та апробація отриманих результатів роботи.

*Перший розділ* вміщує короткий огляд літературних джерел по різних типам систем «Людина-Машина-Середовище» із захистом та їх загальна модель яка описує об'єкт з точки зору загальних принципів його безпечного функціонування. Відзначимо, що тут об'єктом впливу системи захисту є не об'єкт захисту як такий (людина і навколишнє середовище), а складна технічна система, що продукує шкідливий фактор. В дисертаційній роботі визначені класи об'єктів та їх моделей для дослідження. Наведено перелік та коротка характеристика складних технічних систем, які описуються диференціальними моделями з малим параметром, що відображує відношення характерних «часів» динаміки підсистем. Таким чином, обґрунтована необхідність розробки підходів до формалізації та розв'язання задач, які виникають при моделюванні широкого класу технічних систем із захистом, та сформульовано задачі дослідження.

У *другому розділі* для технічних систем із захистом розроблено математичну модель у вигляді взаємозв'язаних автономних диференціальних рівнянь з малим параметром. Дана модель відрізняється від відомих наявністю регулярних та сингулярних збурень. Така модифікація дозволила описати всі можливі співвідношення швидкостей взаємодії джерел шкідливих чинників та систем захисту від них. Відмітимо, що для аналізу такої ергатичної системи із захистом вперше був використаний асимптотичний метод розв'язання її диференціальної моделі. Такий підхід дозволив розвинути метод побудови та аналізу стаціонарних множин сингулярних моделей, отримати умови параметричної стійкості при різних варіаціях біфуркаційних параметрів.

У *третьому розділі* удосконалений обчислювальний метод асимптотичного розв'язку задач Коші застосовано до різних типів сингулярностей при нестационарних параметрах керування. Такий підхід дозволив автору отримати аналітично розв'язок сформульованої задачі для набору швидкостей шкідливих

процесів та захисту. Автор отримав такі оцінки значень малого параметра збурення, які характеризують прийнятну для технічних розрахунків точність.

У четвертому розділі розроблено методики розрахунку динаміки моделей технічних систем в залежності від набору різних типів шкідливих факторів, різних швидкостей на основі відповідних принципів організації захисту. Такий підхід дозволив аналітично досліджувати явні залежності динаміки ліквідації аварій від біфуркаційних параметрів системи. Проведені чисельні дослідження ергатичної системи із захистом при зовнішньому збуренні інтенсивностей шкідливих викидів, яке моделюється малим по амплітуді синусоїдальним збуренням правої частини базової моделі.

Адекватність моделей перевірена на модельних прикладах, що винесені в додатки. Крім того, 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» та «Теорія катастроф», 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 6 – це статті, що опубліковані в журналах, які реферуються, та включені до іноземних та міжнародних наукометричних баз, репозитаріїв та пошукових систем. З них є спеціалізованими виданнями, що включені до переліку МОН України. У збірниках опубліковані тези доповідей на 9 міжнародних наукових конференціях.

Зміст автореферату повністю відповідає дисертації, відбиває 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 загальну взаємодію технічних систем з захистом, а цілком природні застосування до гасіння пожеж віднесені до додатків і згадані побіжно.

- На думку опонента, в роботі більше досліджень щодо прийнятності методів сингулярних збурень моделей, ніж їх побудови та адекватності.
- Не досліджено, як режим роботи підсистеми захисту залежить від початкових умов.
- В авторефераті найбільш докладно представлено доказ актуальності та загальні характеристики роботи, у той час, як зміст розділів дуже скорочено.
- 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 Мохаммада Ракан Абед Алнабі Альджаафрах «Математичне моделювання та обчислювальні методи дослідження ергатичних систем з динамічним захистом» є завершеною науковою роботою. В ній одержані нові науково обґрунтовані результати, які в сукупності вирішують актуальну наукову задачу розробки математичних моделей та методів дослідження систем із захистом. Її стиль, мова викладення, та науковий рівень відповідають пп. 9, 11, 12 «Порядку присудження наукових ступенів...», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України № 567 від 24 липня 2013 р., а її автор заслуговує на присудження йому наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи.

Офіційний опонент  
професор кафедри математичних методів системного аналізу  
Навчального-наукового комплексу  
«Інститут прикладного системного аналізу» НТУУ «КПІ»

докт.техн.наук, професор



Підпис д.т.н, професора Данилова В. Я.  
засвідчую: