

## ВІДГУК

офіційного опонента доктора технічних наук, професора Заяця В.М. на дисертаційну роботу Мохаммада Ракан Абед Алнабі Альджаафрех "Математичне моделювання та обчислювальні методи дослідження ергатичних систем з динамічним захистом", подану на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук зі спеціальності 01.05.02. – математичне моделювання та обчислювальні методи

Детальний аналіз дисертаційної роботи Мохаммада Ракан Абед Алнабі Альджаафрех "Математичне моделювання та обчислювальні методи дослідження ергатичних систем з динамічним захистом" дозволяє сформулювати наступні висновки щодо актуальності, ступеня обґрунтованості основних наукових положень, висновків та рекомендацій, достовірності, наукової новизни, практичного значення, а також дати загальну оцінку роботи.

### **Актуальність теми дисертаційного дослідження**

Проблема підвищення безпеки людино-машинних (ергатичних) систем на сьогоднішній день є надзвичайно актуальною з метою запобігання появи в них небажаних явищ та не допущення катастроф. Її розв'язання здійснюється шляхом вбудовування в ергатичну систему спеціально розробленої підсистеми захисту з метою підвищення швидкодії динамічного захисту до гранично досяжних значень параметрів системи при фінансових обмеженнях на її розроблення.

Протиріччя між ефективністю (продуктивністю) і безпекою таких систем породжує науково-технічну проблему, яка може бути вирішена тільки в рамках більш універсальної системи, що включає економічні та соціальні критерії.

Таким чином, побудова математичних моделей, які описують системи з захистом і процеси, що в них відбуваються, та розроблення методів та алгоритмів їх аналізу, чому і присвячена дана робота, є актуальною проблемою, про що засвідчують чисельні дослідження в цій області як вітчизняних, так і зарубіжних авторів.

Практичну цінність, отриманих в роботі результатів підтверджено їх використанням як в навчальному процесі, так і в ході виконання ряду бюджетних та договірних тем, у яких дисертант приймав участь як відповідальний виконавець.

### **Основні наукові положення, висновки і рекомендації, що сформульовані у дисертації, ступінь їх обґрунтованості і достовірності**

Наукові положення, висновки і рекомендації, які сформульовані в дисертаційній роботі Мохаммада Ракан Абед Алнабі Альджаафрех достатньо повно обґрунтовано комплексним використанням:

– методів системного аналізу для виявлення зв'язків, впливів та динамічних властивостей технічних систем з захистом;

– якісної теорії сингулярних диференціальних рівнянь, що моделюють такі системи, для виділення стаціонарних режимів та умов їх стійкості;



– асимптотичних методів для дослідження моделей ергатичних систем із захистом з метою аналізу та поліпшення їх властивостей.

### **Наукова новизна дисертаційної роботи**

Дисертантом отримані наступні основні наукові результати:

– вперше розроблено математичну модель ергатичних систем з динамічним захистом та її локалізовані варіанти у вигляді взаємозв'язаних диференційних рівнянь з малим параметром, яка відрізняються від відомих наявністю регулярних та сингулярних збурень у широкому діапазоні співвідношень швидкостей взаємодії джерел шкідливих чинників та захисту від них;

– розвинуто 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 числовий метод асимптотичного розв'язку задач Коші з різними типами сингулярностей і нестационарністю параметрів керування, в рамках якого отримано аналітичний розв'язок задачі та оцінки значень малого параметра збурення для різних швидкостей шкідливого процесу;

– модифіковано метод аналізу стійкості ергатичних систем з урахуванням параметричної оцінки стійкості в околі точок катастроф при пошуку раціональних значень її параметрів;

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

### **Практичне значення одержаних результатів**

Практичне значення роботи полягає в тому, що розроблені методи дозволяють оцінити стан і параметри технічних систем із захистом, які призводять до стійкого і швидкого продавлення шкідливих факторів при оптимальних фінансових витратах. Результати роботи можуть знайти широке застосування при розробці підсистем захисту від шкідливих техногенних чинників, зокрема, в екологічно небезпечних виробництвах та інших системах.

Результати роботи використані в навчальному процесі кафедри прикладної математики Харківського національного університету радіоелектроніки для розробки лабораторних та курсових робіт з дисциплін «Імітаційне моделювання», «Теорія катастроф» та «Синергетичні методи в економіці», а також кваліфікаційних робіт бакалаврів і магістрів.

Вони також впроваджені при виконанні фундаментальної держбюджетної теми (№ ДР 0115U001522), та госпдоговору (№ ДР 0117U003827) для поліпшення безпеки та ефективності систем ЖКГ.

### **Повнота викладення наукових положень, висновків та рекомендацій в опублікованих працях**

Основні результати дисертації опубліковано в 15 наукових працях, з них:

3 статті у фахових виданнях за переліком МОН України, 3 статті у закордонних виданнях, одна з яких має цитування в Scopus; 9 тез доповідей, опублікованих в матеріалах міжнародних наукових та науково-практичних конференцій та семінарів. Найбільш значущі результати роботи викладено працях, які є одноосібними.

Обсяг друкованих робіт та їх кількість відповідають вимогам МОН України щодо публікації основного змісту дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук. Зміст автореферату є ідентичним до змісту дисертації і достатньо повно відображає основні положення дослідження.

### **Аналіз змісту дисертації**

Дисертація складається з анотації, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 106 найменувань, трьох додатків на 9 сторінках. Основна частина дисертації надрукована на 134 сторінках, містить 29 рисунків і 6 таблиць. Загальний обсяг роботи складає 153 сторінки.

**У вступі** Мохаммадом Альджаафрех обґрунтована актуальність теми дисертації, сформульовані мета і задачі досліджень, викладені наукова новизна та практична значимість отриманих результатів, наведені дані про особистий внесок, публікації та апробацію наукових розробок.

**В першому розділі** роботи розглянуті різні типи систем «людина-машина-середовище» із захистом та їх загальна модель, яка описує об'єкт з точки зору загальних принципів його безпечного функціонування. Проведено достатньо повний аналіз літературних джерел. Обрано класи об'єктів та їх моделей для дослідження в дисертаційній роботі. Наведено перелік та коротка характеристика технічних систем, які можуть бути описані диференціальними моделями.

**В другому розділі** отримано такі основні результати:

– для технічних систем із захистом, описаних в розділі 1 розроблено математичну модель у вигляді взаємозв'язаних диференціальних рівнянь з малим параметром, яка відрізняється від відомих присутністю регулярних та сингулярних збурень, та використання якої дозволило описати всі можливі співвідношення швидкостей взаємодії джерел шкідливих чинників та системи захисту від них;

– розвинуто метод побудови і аналізу стаціонарних множин часткової сингулярної моделі ергатичної системи з динамічним захистом;

– встановлено умови параметричної стійкості ергатичних систем з синергетичним захистом, що дозволило оцінити параметричну стійкість системи при пошуку раціональних значень її параметрів поблизу точок катастроф і визначити ступінь стійкості ергатичних систем при різних варіаціях біфуркаційних параметрів;

– для аналізу ергатичної системи із захистом вперше був використаний асимптотичний метод розв'язання її диференціальної моделі і отримані замкнуті формули для наближеного по малому параметру є розв'язку;

– граничне значення параметру  $\varepsilon=0.0001$  було отримано шляхом чисельного розв'язку вихідної системи, що засвідчує як переваги асимптотичного підходу, так і малість параметра  $\varepsilon$  в порівнянні з іншими.

**У третьому розділі роботи** удосконалено обчислювальний метод асимптотичного розв'язку задач Коші з різними типами сингулярностей і нестационарністю параметрів керування, що дозволило аналітично отримати розв'язок сформульованої задачі для різних швидкостей шкідливого процесу і захисту. Отримано оцінки значень малого параметра збурення які забезпечують прийнятну для технічних розрахунків точність.

**Четвертий розділ** присвячено розробленню методики розрахунку динаміки моделей систем з виділенням різних типів шкідливих факторів і різних швидкостей і принципів спрацьовування захисту, що дозволило аналітично досліджувати явні залежності динаміки ліквідації аварій від біфуркаційних параметрів системи.

За допомогою чисельних експериментів для різних типів захистів показано, що при  $\varepsilon$  від  $10^{-3}$  до  $10^{-5}$  розмір похибки асимптотичного методу зменшується з 10% до 1%, що цілком припустимо для технічних розрахунків. Перевагою такого методу, очевидно, є отримання достатньо коротких формул для розв'язку, що дозволяє аналізувати поведінку системи в процесі захисту при зміні керуючих параметрів і власних параметрів об'єкта захисту.

Застосуванням методів якісної теорії диференціальних рівнянь передбачено появу необмежених хаотичних рухів при збігу періодів в неавтономній системі поблизу періодичного розв'язку автономної. Чисельні експерименти підтвердили такі прогнози.

**Загальні висновки** по дисертації відповідають її змісту, конкретно і стисло висвітлюють основні наукові результати. Загалом можна зазначити, що дисертація є закінченою науковою роботою, в якій отримані нові наукові результати, що мають як теоретичну, так і практичну цінність.

**У додатках** наведено документи про впровадження та практичне використання результатів роботи, наведено моделі окремих елементів систем динамічного захисту.

### **Дискусійні положення та зауваження щодо дисертаційного дослідження**

Разом з тим, по дисертаційній роботі та автореферату слід зробити такі зауваження:

1. У авторефераті відсутній опис змісту додатків, а також посилання на джерело, в якому описано отриманий результат.
2. При використанні маловживаних специфічних термінів (наприклад, дивний атрактор, сингулярні і регулярні збурення, біфуркаційні параметри, резонанс, тощо) доцільно пояснити їх зміст або дати означення.
3. Недостатньо обґрунтовано вибір функції вартості покупки системи захисту формули (3.29) і (3.30).

4. При виявленні дивного атрактора в системі з динамічним захистом бажано посилатися на класичні роботи, де він описаний вперше, зокрема, роботи Біркгофа Дж. Д., Шустера Г., Шарковського О.М.

5. Аналогічно при розгляді людино-машинних систем потрібно бодай описово відзначити роль людини у цьому процесі і зробити посилання на літературу, де така задача розглядається.

6. По тексті роботи зустрічається ряд русизмів і граматичних описок, що ускладнює читання роботи, хоча і не зменшує цінності отриманих результатів.

### **Загальна оцінка дисертаційної роботи.**

Дисертація Мохаммада Ракан Абед Алнабі Альджаафрех є структурованою, цілісною, завершеною науково-дослідною роботою, а отримані в ній результати вирішують задачу підвищення безпеки ергатичних систем від небезпечних та шкідливих чинників.

Оформлення дисертації та автореферату в цілому, з урахуванням зазначених вище зауважень, відповідає діючим нормативним документам.

Представлена дисертаційна робота відповідає вимогам, що висуваються до кандидатських дисертацій згідно з п.п. 9, 11, 12 "Порядку присудження наукових ступенів", затвердженого постановою Кабінету Міністрів України № 567 від 24 липня 2013 р., а її автор, Мохаммад Ракан Абед Алнабі Альджаафрех, заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.05.02. – математичне моделювання та обчислювальні методи.

Офіційний опонент,  
професор кафедри обчислювальної техніки  
Національного університету водного  
господарства та природокористування,  
д. техн. наук, професор  
31.05.2018 р.



В.М. Заяць

Підпис професора Заяця В.М. засвідчую

Вчений секретар НУВГП




В.І. Давидчук