

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу **Нечипоренко Аліни Сергіївни**
**«Моделі, методи та інформаційні технології раннього виявлення
розладнань в нестационарних квазіперіодичних процесах»,**
представлену на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук
за спеціальністю 05.13.06 - інформаційні технології

Актуальність теми дослідження

Зростання обсягів і складності інформаційних потоків, нестационарність та нелінійність даних, що обробляються, вимагають розробки нових та удосконалення існуючих підходів до вирішення проблеми виявлення розладнань. Приховані залежності у даних, які змінюються з часом можуть свідчити про наявність структурних розладнань процесів, що спостерігаються у складних системах. Взагалі, виникнення розладнань у тій чи іншій мірі пов'язано із зміненням параметрів процесів, які виникають внаслідок порушення функціонування складних систем. При цьому до таких систем можуть бути віднесені технічні, біологічні, біотехнічні та інші класи систем, поведінка яких характеризується нестационарними процесами, у тому числі, із властивостями квазіперіодичності. Для виявлення розладнань у такому випадку класичний підхід на основі методів математичної статистики не є дієвим. Неадитивні розладнання, що є результатом структурних порушень процесу, є прихованими та повільними на відміну від адитивних, які характеризуються різкою зміною параметрів процесу у часі. Звідси впливає проблема раннього виявлення розладнань. Для раннього виявлення неадитивних розладнань доцільним є використання комплексного підходу, який ґрунтується на методах обчислювального інтелекту, проте їх реалізація потребує розробки та впровадження відповідного інформаційно-технологічного забезпечення предметних областей. Особливого значення це набуває у медичній галузі, де в

1



умовах накопичення великих обсягів неоднорідних даних у режимі реального часу необхідно приймати рішення про наявність чи відсутність розладнання. Проблема раннього виявлення розладнань є вельми актуальною також і для різноманітних технічних систем, діагностичні контури яких повинні забезпечувати високу надійність та якість функціонування.

Таким чином, дисертаційна робота присвячена актуальній науково-прикладній проблемі раннього виявлення розладнань в нестационарних квазіперіодичних процесах, для вирішення якої необхідним є застосування комплексного міждисциплінарного підходу на основі моделей та методів обчислювального інтелекту, а також забезпечення інформаційної підтримки у вигляді інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень для їх реалізації.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків та рекомендацій

Основні наукові результати дисертаційного дослідження мають теоретичне обґрунтування та підтверджуються практичною реалізацією. Структура дисертації відображає основні теоретичні та практичні результати, отримані у процесі дослідження. Дисертація складається із вступу, анотацій, семи розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків.

Характерною ознакою роботи є використання міждисциплінарного підходу, як підґрунтя для розробки моделей та методів визначення інформативних ознак розладнань. Здобувачем проведено критичний аналіз наукових праць за такими напрямками досліджень, як теорія аналізу часових рядів, цифрова обробка сигналів, математична фізика, розпізнавання образів, фрактальний аналіз, теорія медичних інформаційних систем, основи побудови інформаційних технологій предметних галузей, продемонстровано володіння сучасними методами дослідження та стандартами обробки даних. Все це у сукупності дозволило запропонувати комплексний підхід до раннього виявлення розладнань в нестационарних квазіперіодичних процесах.

Центральне місце у математичному апараті, який використовує здобувач, займає підхід на основі обчислювального інтелекту, що ґрунтується на методах

екстракції та селекції інформативних ознак та методах класифікації для визначення наявності розладнання. Даний комплексний підхід реалізовано у вигляді послідовності етапів обробки гетерогенних даних, що дозволяє враховувати найбільш релевантні ознаки нестационарних квазіперіодичних процесів, які визначаються за допомогою дослідження їх фізичних властивостей, коректного використання методів аналізу часових рядів та визначення хаотичної складової. У якості критеріїв належності ознак до класів розладнань використовуються критерії, що отримані за допомогою статистичних оцінок, обчислення плаваючого порогового значення, оцінювання компетентності експерта, оцінювання точності класифікації на основі розрахунків похибок 1-го та 2-го роду. Для вирішення завдання інтеграції потоків гетерогенних даних у роботі запропоновано застосування онтологічної моделі представлення знань предметної галузі, що дозволяє зменшити синтаксичну, семантичну та структурну неоднорідності даних.

Таким чином, для створення моделей, методів та інформаційних технологій раннього виявлення неадитивних розладнань в нестационарних квазіперіодичних процесах визначено такі завдання дослідження:

- аналіз моделей, методів та засобів обробки гетерогенних даних для виявлення розладнань в нестационарних квазіперіодичних процесах;
- синтез теоретико-множинної моделі процесів обробки та аналізу гетерогенних даних, для забезпечення вирішення завдання виявлення розладнань та планування втручань;
- удосконалення методу оцінювання аналітичної неоднозначності гетерогенних даних нестационарних квазіперіодичних процесів;
- отримання інтегральної ознаки стану та критерію оцінювання структури нестационарних квазіперіодичних процесів на основі дослідження їх фізичних властивостей;
- удосконалення методу чисельного моделювання просторово-часових характеристик багатовимірних нестационарних квазіперіодичних часових рядів, що дозволить визначати локалізації розладнань;

- розроблення методу визначення інформативних ознак розладнань нестационарних квазіперіодичних процесів на основі аналізу часових рядів;
- розроблення методів раннього виявлення розладнань та фільтрації аномалій нестационарних квазіперіодичних процесів на основі апарату обчислювального інтелекту;
- створення інформаційних технологій раннього виявлення неадитивних розладнань та планування оперативних втручань на основі CFD-моделювання;
- проектування інтелектуальної інформаційної системи, що реалізує інформаційні технології раннього виявлення розладнань та планування оперативних втручань.

Вирішення завдань дослідження досягається шляхом розробки математичних моделей та методів, які є основою інформаційних технологій, ефективність яких підтверджується результатами імітаційного моделювання та фізичних експериментів.

Робота виконувалась у Харківському національному університеті радіоелектроніки у рамках досліджень відповідно до держбюджетних науково-дослідних робіт та грантової програми Horizon2020.

Достовірність отриманих результатів

Достовірність та обґрунтування отриманих у роботі результатів забезпечується коректним використанням теорії системного аналізу, загальної теорії систем, теоретико-множинного підходу, аналізу часових рядів, нечіткого F-перетворення, фрактального аналізу, математичної фізики, обчислювального інтелекту, основ побудови інформаційних технологій.

Достовірність отриманих результатів також підтверджується їх включенням до міжнародного стандарту, сертифікацією програмно-апаратної системи та її використанням у клінічній практиці.

Основні наукові результати досліджень і новизна дисертації

Наукова новизна дисертаційного дослідження полягає у розробленні теоретичних та прикладних основ раннього виявлення розладнань в

нестационарних квазіперіодичних процесах, що дозволило отримати такі основні наукові результати.

1. Вперше запропоновано теоретико-множинну модель процесів обробки та аналізу гетерогенних даних нестационарних квазіперіодичних процесів із функціями інтелектуальної підтримки прийняття рішень та планування оперативних втручань, що дозволяє реалізувати комплексний підхід до підвищення якості раннього виявлення розладнань.

2. Вперше запропоновано модель інтегральної ознаки стану нестационарних квазіперіодичних процесів. Модель враховує сукупний вплив статичних та динамічних параметрів зовнішнього середовища, які впливають на стан досліджуваних процесів, що дає можливість враховувати наявні властивості нестационарності та квазіперіодичності при вирішенні завдання виявлення розладнань.

3. Вперше розроблено метод синтезу інтегрального критерію оцінювання структури нестационарних квазіперіодичних процесів, який ґрунтується на визначення інтервалів сталості та критичного значення інтегральної ознаки стану процесу. Застосування методу дає змогу забезпечити прогнозування структурних розладнань в умовах неповної інформації про стан процесу.

4. Вперше розроблено метод раннього виявлення розладнань в нестационарних квазіперіодичних процесах на основі нейронних мереж опорних векторів, який містить етапи визначення властивості лінійної нероздільності даних та параметрів радіальної базисної функції ядра за допомогою процедури крос-валідації на основі генетичного алгоритму. Це дозволяє підвищити точність виявлення розладнань та зменшити витрати ресурсів на усунення розладнань.

5. Вперше запропоновано метод фільтрації аномалій нестационарних квазіперіодичних рядів на основі згортальної нейронної мережі глибинного навчання, який містить етапи перетворення одновимірних масивів нестационарних квазіперіодичних рядів у двовимірні масиви зображень та обчислення

оптимального значення параметру роздільної здатності за допомогою ансамбля дерев рішень, що дає можливість відфільтрувати помилки реєстрації даних.

6. Удосконалено метод імітаційного моделювання просторово-часових характеристик багатовимірних нестационарних квазіперіодичних часових рядів, який на відміну від існуючих містить етап завдання нестационарних граничних умов із врахуванням властивості квазіперіодичності, що дає можливість сформувати багатовимірне візуальне представлення нестационарного квазіперіодичного ряду та визначити місцезнаходження розладнань.

7. Удосконалено метод оцінювання аналітичної неоднозначності гетерогенних даних, який на відміну від існуючих містить етапи ідентифікації типу даних та класу невизначеності у залежності від типу даних, що дає змогу підвищити точність раннього виявлення розладнань в нестационарних квазіперіодичних процесах.

8. Отримав подальший розвиток метод визначення інформативних ознак розладнань нестационарних квазіперіодичних рядів, який на відміну від існуючих містить етапи нечіткої апроксимації, визначення спектральних компонент на основі модифікованого коваріаційного методу та визначення хаотичної складової ряду, що у сукупності дає можливість підвищити ефективність раннього виявлення розладнань.

Практичне значення одержаних результатів

Результати роботи апробовано і впроваджено в лікувально-діагностичний процес міської клінічної лікарні № 30, м. Харків, Харківського науково-практичного центру хвороб вуха, горла, носа, ХМАПО. Інформаційна технологія раннього виявлення неадитивних розладнань в нестационарних квазіперіодичних процесах використовується у медичній практиці та дозволяє оптимізувати процеси визначення розладнань та їх диференціації, що сприяє зменшенню кількості лікарських помилок. Інформаційна технологія планування оперативних втручань на основі імітаційного CFD-моделювання дозволяє підвищити якість прийняття рішень процесу планування та запобігти непотрібних втручань. Величину інтегральної ознаки стану нестационарних

квазіперіодичних процесів включено до міжнародного стандарту оцінювання функції носового дихання «ISCOANA». Метод визначення інформативних ознак розладнань із застосуванням спектрального аналізу часових рядів нестационарних квазіперіодичних процесів впроваджено у наукову діяльність Інституту проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного Національної Академії Наук, м. Харків. Результати досліджень впроваджено у навчальний процес кафедри програмної інженерії Харківського національного університету радіоелектроніки при проведенні лекційних занять та лабораторних робіт з курсів «Задачі та методи Data Mining», «Комп'ютерний зір», «Віртуальна реальність і 3D моделювання». Всі впровадження вищезазначені підтверджується відповідними актами. Програмно-апаратна система «Optimus» пройшла сертифікацію УКРСЕПРО, свідоцтво державної реєстрації № 14777/2015 від 12.06.2015 р.

Оформлення дисертації та автореферату

Дисертаційна робота та автореферат написані на достатньо високому науково-технічному рівні. Опис досліджень має логічну структуру, висновки та рекомендації є доступними для сприйняття. Розрахунки та графічний матеріал реалізовано на основі експериментальних даних, отриманих особисто здобувачем за допомогою розробленої програмно-апаратної системи. Роботу оформлено відповідно до вимог МОН, які висуваються до дисертаційних робіт.

Рекомендації щодо використання результатів дисертації

Запропонований в дисертації метод визначення інформативних ознак розладнань нестационарних квазіперіодичних рядів доцільно застосувати для забезпечення якості процедур технічного діагностування галузі машинобудування для виявлення розладнань на виробництві підшипників, зубчастих передач, елементів механічних передач та приводів.

Розроблений у роботі метод фільтрації аномалій нестационарних квазіперіодичних рядів може бути використаний для виявлення помилкових даних реєстрації систем екологічного моніторингу, систем слідкування за

маневруючими об'єктами та навігаційних систем при обробці великих обсягів даних.

Публікація та апробація результатів дисертації

За темою дисертації опубліковано 58 наукових праць: 28 статей (з них 8 одноосібно), серед яких 21 у фахових періодичних виданнях України та за кордоном з технічних наук, з них 6 статей в англійських виданнях, 4 з яких включено до міжнародної наукометричної бази Scopus, 7 статей у додаткових виданнях за темою дисертації, 1 з яких включено у міжнародну наукометричну базу Scopus, 2 патенти України на винахід, 1 патент України на корисну модель, 27 тез доповідей у матеріалах міжнародних наукових конференцій (5 в англійських виданнях, що включені в міжнародну наукометричну базу Scopus).

Відповідність змісту автореферату основним положенням дисертації

Автореферат та опубліковані за темою дисертації наукові публікації здобувача з достатньою повнотою відбивають її зміст. Автореферат за структурою, змістом і оформленням цілком відповідає вимогам МОН України до дисертаційних робіт.

Використання в докторській дисертації результатів наукових досліджень за якими була захищена кандидатська дисертація

Здобувачем не винесено на захист наукових положень, за якими була захищена його кандидатська дисертація.

Зауваження щодо змісту та оформлення дисертаційної роботи

1. При розробці онтологічної моделі предметної галузі у другому розділі роботи, здобувачем запропоновано використання канонічної моделі, яка спирається на стандарт EHR, як такий, що є стандартом зберігання медичної інформації, проте відсутні рекомендації щодо використання стандартів інших предметних галузей.

2. У третьому розділі доцільно було б навести графічну залежність часу обчислення просторово-часових характеристик багатовимірних часових рядів

від величини кількості елементів сітки тривимірної моделі відповідно до удосконаленого методу імітаційного моделювання.

3. У підрозділі 4.2 не наведено кількісні результати порівняльного аналізу використання різних значень порядку моделі модифікованого коваріаційного методу при обчисленні спектральної щільності потужності нестационарних квазіперіодичних часових рядів.

4. Не зрозуміло за яким критерієм обрано чисельний метод Адамса у підрозділі 4.4 для розв'язання диференціальних рівнянь із запізненням.

5. У підрозділі 5.1 не достатньо обґрунтовано відсутність необхідності застосування методів відбору найбільш інформативних параметрів у випадку масиву лінійно роздільних даних, які є результатом екстракції інформативних ознак за допомогою нечіткої апроксимації фазових портретів часових рядів.

6. На мій погляд, доцільним було б доповнити підхід до визначення оптимального значення параметру роздільної здатності матриці зображення у підрозділі 5.2 на основі методу «Random Forest» порівнянням результатів, отриманих за допомогою аналогічних методів машинного навчання.

7. У роботі не наведено оцінки часових витрат на процеси побудови та корекції тривимірної моделі інформаційної технології планування оперативних втручань.

8. У сьомому розділі незрозуміло на якій підставі обрано стандарт JSON, тому доцільним було б навести порівняльний аналіз характеристик стандартів опису метаданих JSON та XML, як обґрунтування вибору для процесу обміну даними стандарту JSON.

Вказані зауваження в цілому не змінюють загального позитивного враження та не впливають на оцінку роботи, яка виконана на високому науковому рівні.

Висновок

Дисертаційна робота А.С. Нечипоренко є завершеним науковим дослідженням, у якому вирішено науково-прикладну проблему створення теоретичних та прикладних основ раннього виявлення неадитивних розладнань

в нестационарних квазіперіодичних процесах. Отримані в роботі теоретичні та експериментальні результати забезпечують розв'язання поставленої проблеми та мають наукове і практичне значення для розвитку інформаційних технологій. Вважаю, що дисертація відповідає паспорту спеціальності 05.13.06 – інформаційні технології та чинним вимогам п.п. 9, 10, 12-14 «Порядку присудження наукових ступенів» (Постанова Кабінету Міністрів України №567 від 24.07.2013 р.) щодо докторських дисертацій, а її здобувач, **Нечипоренко Аліна Сергіївна**, заслуговує на присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.06 – інформаційні технології.

Офіційний опонент:

Проректор з науково-педагогічної
роботи Приватного вищого навчального
закладу «Комп'ютерна академія «ШАГ»,
д.т.н., доцент

Т.С. Рак

Підпис Рака Тараса Євгеновича

засвідчую:

Тарнопольська Л. Ю., каталькик відділу керрі'в

