

ВІДЗИВ

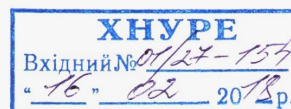
офіційного опонента

доктора технічних наук, професора **Михальова Олександра Ілліча** на дисертаційну роботу **Нечипоренко Аліни Сергіївни** «Моделі, методи та інформаційні технології раннього виявлення розладнань в нестационарних квазіперіодичних процесах», яка подана на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.06 - інформаційні технології

Зростання складності технічних систем різних галузей нерозривно пов'язане із необхідністю забезпечення надійності та працездатності, реалізація чого неможлива без контролю стану процесів, що їх характеризують та своєчасного виявлення розладнань із застосуванням сучасних інформаційних технологій. Особливої актуальності це набуває у задачах технічної та медичної діагностики, екологічного моніторингу середовища, визначення змін властивостей сигналів різної природи таких, як радіолокаційні сигнали, вібросигнали, сейсмограми, біомедичні сигнали.

На сьогодні інформаційні технології виявлення розладнань ґрунтуються на методах теорії виявлення розладнань, яка є розвинутою та такою, що знайшла своє застосування у багатьох галузях науки і техніки для виявлення адитивних розладнань в стохастичних процесах. Проте більшість реальних процесів, такі як дані систем екологічного та медичного моніторингу є детермінованими та володіють властивостями нестационарності і квазіперіодичності. Складність та нелінійність систем, що можуть функціонувати у різних режимах впливає на визначення параметрів процесів, що їх характеризують. Дуже часто змінення параметрів здійснюється повільно та не є стрибкоподібним, це безумовно відображується в структурі процесу, але має прихований характер. Ідентифікація саме таких повільних прихованих змін є ключовим моментом раннього виявлення розладнань. Існуючі моделі та методи не володіють достатньою ефективністю для виявлення невідповідностей та порушень у таких даних. Насамперед це пов'язано із відсутністю відповідного математичного забезпечення, а також комплексного підходу до вирішення завдання виявлення розладнань, який повинен забезпечувати обробку гетерогенної інформації досліджуваних процесів із врахуванням властивостей нестационарності і квазіперіодичності.

Основним напрямом ефективного вирішення цієї проблеми є розробка методів раннього виявлення розладнань в нестационарних квазіперіодичних процесах на основі інтелектуального аналізу даних. В умовах глобалізації методів та засобів діагностування все більш впевнені позиції отримує напрямок інтелектуалізації інформаційних технологій, як альтернативного підходу для забезпечення вирішення завдання виявлення розладнань. Таким чином, розвиток інтелектуальних технологій обробки інформації сприяє укріпленню фундаменту методів виявлення розладнань та є потужним інструментом вирішення широкого спектру задач на основі математичного апарату обчислювального інтелекту.



Авторкою виконано змістовний аналіз достатньо великого обсягу наукових публікацій за напрямом досліджень у різних предметних галузях, який показав відсутність сучасних інформаційних технологій виявлення розладнань в нестационарних квазіперіодичних процесах та необхідність розробки апаратно-програмного комплексу для аналізу часових рядів та інформаційних технологій для дослідження фізичних властивостей, виявлення інформативних ознак можливих розладнань, а також застосування ІТ на основі CFD-аналізу для забезпечення процесу планування оперативних втручань.

Актуальність виконаної роботи

Дисертація А.С. Нечипоренко присвячена розв'язку науково-технічної проблеми підвищення ефективності раннього виявлення розладнань в нестационарних квазіперіодичних процесах в умовах інформаційної невизначеності. Проте розв'язок проблеми засновано на глибинному дослідженні теоретичних основ нестационарних квазіперіодичних процесів, що у свою чергу, обумовлено непридатністю існуючих моделей та методів для аналізу вищезазначених процесів з метою визначення їх інформативних ознак, які свідчать про розладнання.

На основі проведених досліджень здобувачем виявлено недостатню ефективність існуючих підходів до виявлення розладнань в нестационарних квазіперіодичних процесах та підтверджено необхідність розробки інформаційного забезпечення у вигляді інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень, на основі якої реалізовано підхід до раннього виявлення розладнань; математичного забезпечення, основу якого складає комплекс методів екстракції інформативних ознак із застосуванням теорії аналізу часових рядів, обчислювального інтелекту, методів математичної фізики; технічного забезпечення – у вигляді апаратно-програмних систем.

Дисертаційна робота виконувалась відповідно до завдань не менш як 5-х науково-дослідних держбюджетних тем МОН України, наприклад: «Дослідження теоретичних та технічних принципів оцінки стану людини, профілактики, лікування та реабілітації» (ДР № 0107U001541), «Теорія, методи і моделі управління життєвим циклом інтелектуальних інформаційних середовищ регіональних соціо-економічних об'єктів» (розділ «Розробка знання-орієнтованих моделей, методів та елементів інформаційного середовища на прикладі створення інформаційного середовища процесу діагностики у ринології»), (ДР № 0115U002430), «Розробка інформаційної технології ідентифікації системних адаптаційних можливостей підлітків з серцевою патологією» (ДР № 0115U002437), , у яких здобувач був виконавцем окремих етапів. Особливої уваги заслуговує той факт, що робота виконувалась в рамках програми Horizon2020, Cost action № CA15110 «Harmonizing standardization strategies to increase efficiency and competitiveness of European life-science research» та відповідно до плану робіт у міжнародному комітеті ISO/TC 276 Biotechnology, WG5 «Data processing and integration».

Предметом дослідження є моделі, методи та інформаційні технології, що забезпечують раннє виявлення розладнань в нестационарних квазіперіодичних процесах. При цьому авторка представила результати аналізу літературних

джерел за напрямками класичного та альтернативного підходів до виявлення розладнань із використанням інформаційних технологій виявлення розладнань та планування оперативних втручань (129 джерел), теорії детермінованих та стохастичних процесів (44 джерела), теорії медичних інформаційних систем (17 джерел).

Аналіз рівня попередньо досягнутих результатів в області, що розглядається у роботі, дозволив автору виявити недоліки та протиріччя існуючих моделей та методів, які пов'язані з їх непристосованістю для аналізу нестационарних квазіперіодичних процесів. На основі системного підходу було сформульовано науково-прикладну проблему та завдання, які необхідно вирішити для її розв'язання, що полягають у розробці комплексу математичних методів з використанням теорії аналізу часових рядів, обчислювального інтелекту, системного моделювання, розробці інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень як відповідного інформаційного забезпечення, а також реалізовані у вигляді програмно-апаратного забезпечення ІТ раннього виявлення розладнань в нестационарних квазіперіодичних процесах.

Таким чином, *актуальність* дисертаційної роботи полягає у необхідності створення ефективного математичного та інформаційного забезпечення для вирішення завдань щодо планування оперативних втручань за рахунок раннього виявлення розладнань в нестационарних квазіперіодичних процесах, що досліджуються.

Наукова новизна дисертаційних досліджень

В дисертаційній роботі отримано теоретичні та практичні результати щодо розробки наукових і методологічних основ створення та застосування інформаційних технологій та інформаційних систем на основі удосконалення та створення нових методів аналізу і оцінювання інформації, моделювання процесів і їх класифікації для побудови ефективних прикладних інформаційних технологій. Це дозволяє стверджувати, що тема і зміст дисертації повністю відповідають паспорту спеціальності 05.13.06 – інформаційні технології. В дисертаційній роботі поставлено і вирішено такі основні завдання наукового дослідження:

Перше завдання пов'язане із розробкою теоретико-множинної моделі процесів обробки та аналізу гетерогенних даних, на основі якої реалізуються завдання виявлення розладнань та планування втручань. Автором запропоновано концептуальні основи побудови інтелектуальної систем підтримки прийняття рішень як підґрунтя для реалізації методів раннього виявлення розладнань. Сформовано перелік вимог, який містить, інформаційні, функціональні та технологічні вимоги до системи, синтезовано її структурно-функціональну схему. Формалізовано також модель інформаційних процесів обміну даними, зберігання та обробки сигналів на основі сукупності математичних моделей, що забезпечують якісне прийняття рішень при ранньому виявленні розладнань, а також процесів алгоритмізації, планування оперативних втручань та оцінювання якості процесу виявлення розладнань (п. 2.2, 2.3 дисертації).

В свою чергу, треба особо відмітити запропонований здобувачем підхід до вирішення проблеми семантичної сумісності, для чого авторкою було застосовано онтологічну моделі даних, що дозволяє уніфікувати представлення різномірної інформації та підвищити точність інтеграції онтологій предметних областей різних інформаційних систем. Все вищезазначене дозволяє реалізувати комплексний підхід до підвищення якості раннього виявлення розладнань.

Друге завдання пов'язане з вдосконаленням методу оцінювання аналітичної неоднозначності гетерогенних даних. Для цієї мети здобувачем обрано метод на основі обчислення невизначеності. Проаналізувавши джерела аналітичної неоднозначності, які впливають на значення інтервальних оцінок даних, у залежності від типу даних, дисертантом запропоновано процедуру оцінювання невизначеності гетерогенних даних, що утворюють нестационарні квазіперіодичні процеси. При цьому оцінюється сукупність гетерогенних даних, яка містить дані експертних оцінювань, масиви часових рядів, скалярні величини, отримані в результаті вимірювань. Використання такого підходу дійсно дає змогу підвищити точність раннього передбачення появи можливих розладнань в нестационарних квазіперіодичних процесах (п. 2.4 дисертації).

Третє завдання полягає у розробці моделі інтегральної ознаки стану та метод синтезу інтегрального критерію оцінювання структури нестационарних квазіперіодичних процесів на основі дослідження їх фізичних властивостей. За допомогою запропонованого дисертантом підходу у роботі отримано модель інтегральної ознаки стану таких процесів, яка враховує сукупний вплив статичних та динамічних параметрів зовнішнього середовища, а також метод синтезу інтегрального критерію оцінювання структури нестационарних квазіперіодичних процесів, що, у свою чергу, дозволяє визначати критичне значення інтегральної ознаки. Використання вищезазначених моделі і методу дає змогу враховувати наявні властивості нестационарності та квазіперіодичності та забезпечити прогнозування структурних розладнань в умовах неповної інформації про стан процесу (п. п. 3.1, 3.2).

Наступне, **четверте завдання** присвячене вдосконаленню методу імітаційного моделювання просторово-часових характеристик багатовимірних нестационарних квазіперіодичних часових рядів, який містить етапи побудови тривимірної моделі каналу нерегулярної форми, чисельного моделювання характеристик багатовимірних нестационарних квазіперіодичних часових рядів, визначення граничних умов моделювання із заданням нестационарних граничних умов з урахуванням властивості квазіперіодичності. Застосування методу сукупно з візуалізацією результатів моделювання дозволяє можливість отримати місцезнаходження розладнань, що дає змогу забезпечити комп'ютерне планування оперативних втручань (п. п. 3.4).

П'яте завдання пов'язане із розробкою методу визначення інформативних ознак розладнань нестационарних квазіперіодичних процесів на основі аналізу часових рядів. На підставі проведеного автором дослідження методів статистичного аналізу та спектрального інтервального оцінювання часових рядів із застосуванням вдосконаленого методу на основі

модифікованого коваріаційного аналізу, було отримано інформативні ознаки нестационарних квазіперіодичних рядів. За допомогою фрактального аналізу також була визначена можливість появи хаотичної складової досліджуваних процесів, що, в свою чергу, дало змогу отримати додаткову інформацію.

Таким чином, застосування запропонованого методу дозволило сформуванню вектор значущих параметрів для виявлення розладнань у нестационарних квазіперіодичних процесах (п. 4.2 – 4.4 дисертації).

Шосте завдання вирішувалося шляхом розробки методів фільтрації аномалій нестационарних квазіперіодичних процесів на основі апарату обчислювального інтелекту. Розглядалося, що метод раннього виявлення розладнань в нестационарних квазіперіодичних процесах є узагальненням підходу розпізнавання образів на основі вирішення завдання навчання за прецедентами, використання методів екстракції та селекції інформативних ознак та математичного апарату нейронних мереж опорних векторів. Формування вихідного масиву інформативних ознак гетерогенних даних нестационарних квазіперіодичних процесів, які отримані у попередніх розділах роботи за допомогою дослідження фізичних властивостей процесів та застосування методу визначення інформативних ознак розладнань на основі аналізу часових рядів, ґрунтується на моделях відбору інформативних ознак за допомогою нечіткої регресії та методу найменших кутів, сукупності моделей обчислювання інформаційної ентропії.

Алгоритми на основі нейронних мереж опорних векторів та нейронних мереж опорних векторів з радіальною базисною функцією ядра дозволяють обробляти дані, що є лінійно роздільними, та такі, що є лінійно нероздільними, при цьому параметри регуляризації та зворотньої ширини радіальної базисної функції ядра визначаються за допомогою процедури кросвалідації на основі генетичного алгоритму, що дозволяє підвищити точність виявлення розладнань та зменшити витрати ресурсів на усунення розладнань (п. 5.1 дисертації).

Запропонований метод фільтрації аномалій нестационарних квазіперіодичних рядів за допомогою згортальної нейронної мережі глибинного навчання, яка здійснює аналіз двомірних масивів зображень, що отримано шляхом перетворення одномірних часових рядів, та обчислення оптимального значення параметру роздільної здатності за допомогою ансамбля дерев рішень, дає можливість відфільтрувати помилки реєстрації у випадку великих обсягів даних. Це є безумовно актуальним для обробки великих масивів даних інформаційних систем різних предметних галузей (п. 5.2 дисертації).

Сьоме та восьме завдання присвячені розробці інформаційних технологій раннього виявлення неадитивних розладнань в нестационарних квазіперіодичних процесах та планування оперативних втручань на основі імітаційного CFD-моделювання. В роботі запропоновано модель, на основі якої розробляється кожна з інформаційних технологій. Дана модель являє собою сукупність взаємопов'язаних між собою об'єктів і інформаційних процесів у вигляді структури даних і комплексу математичних моделей, методів та ІТ. При цьому інформаційні процеси, що обробляються, є сукупність процесів попередньої обробки даних, збору даних, фільтрації аномалій, процесів

екстракції та селекції інформативних ознак класифікації, побудови 3D моделей каналів нерегулярної форми, CFD – моделювання, а також процесів корекції моделі та формування рекомендацій щодо оперативного втручання, допоміжних інформаційних процесів. Впровадження інформаційної технології раннього виявлення розладнань дозволяє виявляти неадитивні розладнань на ранній стадії та забезпечувати превентивні заходи лікування. Впровадження інформаційної технології планування оперативних втручань дозволяє підвищити ефективність втручань у ринології та запобігти непотрібним хірургічним втручанням (п. 6.1- 6.3 дисертації).

Реалізація **дев'ятого завдання** пов'язана із розробкою інтелектуальної інформаційної системи, на основі якої реалізовано інформаційні технології раннього виявлення розладнань та планування оперативних втручань. При цьому деякі модулі системи реалізовано на найвищому рівні готовності технології TRL-9 відповідно до методу оцінювання «Technology readiness levels», а саме апаратно-програмні системи для оцінювання функції носового дихання та функції остіомеатального комплексу. Даний факт підтверджує практичну спрямованість отриманих результатів.

Достовірність наукових положень і результатів

Достовірність та обґрунтування отриманих у роботі результатів забезпечується коректним використанням методів математичного та комп'ютерного моделювання, адекватність яких підтверджуються експериментами із використанням фізичних моделей.

Під час теоретичних досліджень використано теорію системного аналізу, загальну теорію систем, теорію аналізу нестационарних часових рядів, математичної фізики, обчислювального інтелекту.

Ефективність застосування розроблених інформаційних технологій підтверджується результатами імплементації в клінічній практиці, а апаратно-програмних систем – результатами державної сертифікації.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертації

Грунтовний аналіз основних методів розв'язку задачі виявлення розладнань дозволив автору розробити низку моделей та методів екстракції інформативних ознак, на основі яких розроблено метод раннього виявлення неадитивних розладнань в нестационарних квазіперіодичних процесах. Коректне застосування методів системного аналізу, загальної теорії систем, теоретико-множинного підходу, а також структурного аналізу побудови прикладних інформаційних технологій дав змогу розробити модель процесів обробки та аналізу гетерогенних даних та створити інформаційні технології на основі яких розроблено інтелектуальну систему підтримки прийняття рішень раннього виявлення розладнань у нестационарних квазіперіодичних процесах. Отримані результати та висновки є логічно та математично аргументованими.

Дисертант розв'язав поставлену задачу, що пов'язана з розв'язком науково-технічної проблеми підвищення ефективності раннього виявлення розладнань в нестационарних квазіперіодичних процесах в умовах інформаційної невизначеності.

Підтверджую, що у докторській дисертації Нечипоренко Аліни Сергіївни не використано результати наукових досліджень отримані у її дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук, яку було присвячено питанням розробки адаптивних методів підвищення розбірливості мови в цифрових слухових апаратах на основі формантного аналізу звукових сигналів та захищено у 2009 році.

Повнота освітлення результатів дисертації

Результати роботи висвітлені у 58 наукових публікаціях, серед них 28 статей, серед яких 21 у фахових періодичних виданнях України та за кордоном з технічних наук, з них 6 статей в англомовних виданнях, 4 з яких включено у міжнародну наукометричну базу Scopus, 7 статей у додаткових виданнях за темою дисертації. Серед них статті, які опубліковано в авторитетних журналах «Системні технології», «Telecommunications and Radio Engineering», «Journal of Graphic, Image and signal processing», «Cybernetics and Systems Analysis», «Computer science, information technology, automation journal». Отримано 2 патенти України на винахід, 1 патент України на корисну модель, 27 тез доповідей у матеріалах міжнародних наукових конференцій (5 в англомовних виданнях, що включені в міжнародну наукометричну базу Scopus). Серед них тези доповідей, які опубліковано у збірниках матеріалів міжнародних IEEE конференцій «Computer Sciences and Information Technologies», «ELNANO», «Data Stream Mining & Processing (DSMP)».

Автореферат у повній мірі відображує зміст дисертації.

Практична цінність результатів роботи

Результати дисертаційних досліджень впроваджено у клінічну практику міської клінічної лікарні № 30, м. Харків, Харківського науково-практичного центру хвороб вуха, горла, носа, Харківської медичної академії післядипломної освіти, стандарти оцінювання функції носового дихання «ISCOANA», навчальний процес кафедри програмної інженерії Харківського національного університету радіоелектроніки (Додаток Р).

Метод визначення інформативних ознак розладнань нестационарних квазіперіодичних рядів впроваджено в наукову діяльність Інституту проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного Національної Академії Наук України, м. Харків для виявлення розладнань у вібросигналах підшипників ковзання. Апаратно-програмна система для оцінки функції носового дихання пройшла апробацію у клінічній лікарні «Феофанія» Державного Управління Справами, м. Київ та державну сертифікацію, що підтверджується відповідним свідоцтвом (Додатки П, Р) та її включенням у державний реєстр медичного обладнання.

Зауваження щодо змісту та оформлення дисертації

За змістом дисертації можна висловити такі зауваження:

1. У першому розділі роботи під час аналітичного огляду методів виявлення розладнань відповідно до альтернативного підходу відсутній опис оптимального та спрощеного алгоритмів методу еліпсоїдального оцінювання. Аналіз методів виявлення розладнань на основі нейронних мереж також вважаю неповним у зв'язку з ігноруванням адаптивного виявлення прихованих періодичностей в сигналах за допомогою мереж рекурсивних фільтрів.

2. При розгляді схеми сценарію обробки даних за допомогою алгоритмів машинного навчання на рис. 2.5 автором не наведено послідовності їх використання та конкретних рекомендацій при вирішенні завдань раннього виявлення розладнань та планування оперативних втручань предметної галузі. Також відсутнє пояснення диференціації між виявленням некоректних даних та нових коректних даних для нечастих випадків.
3. З підрозділу 2.4 не зовсім зрозуміло, чого саме вираз (2.24) обрано для визначення рівня компетентності експерта.
4. В тексті третього розділу дисертаційної роботи не наведено опис вимірювання площі та периметру перетину каналу нерегулярної форми, дані яких використовуються при проведенні обчислень еквівалентного діаметру відповідно до виразу (3.8).
5. У підрозділі 3.3 доцільним було б наведення порівняльної характеристики часових затрат на побудову тривимірних моделей за допомогою різних методів рендерингу, а також навести приклади використання додатків для масивно-паралельних обчислювань.
6. В роботі спектральними методами досліджуються нестационарні сигнали, однак при цьому недостатньо уваги приділено опису зв'язку їх нестационарності з квазіперіодичністю, питань зміни їх спектральних характеристик у часі, а також вибору довірчих інтервалів для квазістационарних інтервалів (вікон) сигналів, де застосування спектральних методів дійсно можливо.
7. Вважаю, що доцільним було б надання результатів порівняльного аналізу застосування методів Бурга та коваріаційного і модифікованого коваріаційного методу, які використовуються здобувачем для обчислення спектральної щільності потужності нестационарних квазіперіодичних часових рядів.
8. Бездоказово декларується хаотичність вимірюваних сигналів. При цьому не наведено графічної візуалізації атракторів квазіперіодичних процесів, що досліджуються, при наявності яких, в разі проведення досліджень транзитивних орбіт, які покривають весь атрактор, можна було б дійсно довести наявність хаосу в вимірах диференційного тиску і повітряного потоку. Таким чином, можна говорити про квазіперіодичність сигналів, навіть про їх складноперіодичність, але не про їх хаотичність.
9. Представлені у п'ятому розділі роботи результати класифікації за допомогою згортальних нейронних мереж глибинного навчання не містять характеристик часових витрат на обчислення основних параметрів моделі. При цьому недостатньо повно обґрунтовано застосування згортальних нейронних мереж для фільтрації аномальних значень у вимірах диференційного тиску повітряного потоку.
10. У роботі має місце деяка еkleктика в термінах, наприклад, йдеться про «моделювання характеристик», а не про «моделювання процесів», що було б коректним. Використовується термін «раннє виявлення розладнань», але не дається кількісне йому обґрунтування і т.п.

Проте вказані зауваження не знижують загальну позитивну оцінку роботи, її наукову і практичну цінність.

Загальна оцінка дисертаційної роботи

На підставі вивчення змісту дисертаційної роботи, автореферату та наукових публікацій здобувача можна зробити такі висновки: дисертаційна робота А.С. Нечипоренко є завершеним науковим дослідженням, де виявлено та **вирішено важливу наукову-прикладну проблему** створення теоретичних та прикладних основ раннього виявлення неадитивних розладнань в нестационарних квазіперіодичних процесах.

В роботі отримано нові результати, що мають наукове та практичне значення для розвитку науки і техніки. Наведені у роботі наукові результати знайшли впровадження у різних галузях, що підтверджує їх практичну значимість, а їх використання сприятиме науково-технічному прогресу в областях медичної а технічної діагностики при вирішенні завдань раннього виявлення розладнань в нестационарних квазіперіодичних процесах.

Дисертаційна робота А. С. Нечипоренко повністю відповідає чинним вимогам п.п. 9, 10, 12-14 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника» (Постанова Кабінету Міністрів України №567 від 24.07.2013 р.) щодо докторських дисертацій, а її авторка, Нечипоренко Аліна Сергіївна, заслуговує на присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.06 – інформаційні технології.

Офіційний опонент:

завідувач кафедри інформаційних технологій і систем,
Національної металургійної академії України,
Лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки
доктор технічних наук, професор

О.І. Михальчук

Підпис офіційного опонента,
доктора технічних наук, професора Михальчука О.І. **засвідчую:**
Вчений секретар Національної металургійної академії України
професор



О.Ю. Потап