ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу
Беласа Андрія Олеговича
на тему «Моделі і методи інтелектуального аналізу даних для прогнозування нелінійних нестаціонарних процесів»,
представлену на здобуття ступеня доктора філософії
в галузі знань Інформаційні технології
за спеціальністю 122 - Комп'ютерні науки

Актуальність теми дисертації.

Всі процеси, що проходять на Землі – нелінійні і більшість з них нестаціонарні. Особливо це стосується фінансово-економічних процесів, для яких активно постають задачі моделювання, оцінювання та прогнозування. Зокрема, сьогодні, на жаль, стають також актуальними проблеми, і з інших галузей життя: в медицині, в природних явищах, а також пов'язані із прогнозуванням терактів та інших негативних явищ, які також можуть бути описані як нелінійні нестаціонарні процеси.

Однак, ще залишаються нерозв'язаними багато ключових задач стосовно вибору методів врахування невизначеностей різної природи і типів, коректної підготовки даних, ефективного оцінювання параметрів математичних і статистичних моделей, побудови функцій класифікації, прогнозування і т. ін. На сьогодні прогрес у напрямі підвищення якості та розширення можливостей сучасних систем математичного моделювання, оптимального оцінювання станів, прогнозування розвитку стохастичних процесів в економіці, фінансах, технічних системах і технологіях неможливий без застосування сучасних методів інтелектуального аналізу даних та інформаційних технологій, коректної обробки статистичних даних та врахування множини наявних невизначеностей структурного, статистичного і параметричного характеру. А отже, тема дисертації актуальна та життєва.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

1. Запропоновано, сформульовано і описано загальний метод моделювання і прогнозування нелінійних нестаціонарних процесів на основі математичних моделей інтелектуального аналізу даних з використанням статистичних даних, в тому числі критеріальну базу, методи обробки і підготовки даних

до моделювання і прогнозування, що є основою для створення СППР для аналізу ННП.

2. Запропоновано метод побудови моделей нелінійних процесів, який відрізняється застосуванням окремих процедур для оптимізації структури лінійної та нелінійної складових моделі з їх наступним адитивним об'єднанням в єдину модель, що забезпечує підвищення адекватності моделі і точності оцінок прогнозів у цілому запропоновано використання нових для вибраного типу процесів моделей та їх модифікацій на основі методів інтелектуального аналізу даних, а саме згорткових нейронних мереж, для формального опису і прогнозування ННП, побудовано відповідно нові моделі та оцінено прогнози.
3. Удосконалено існуючий підхід з використанням класичних статистичних моделей на основі регресійного підходу шляхом комбінування їх з методами інтелектуального аналізу даних.
4. Удосконалено метод оцінювання параметрів лінійних моделей для адаптації на основі методу Монте-Карло для марківських ланцюгів.

Достовірність і обґрунтованість наукових результатів забезпечується коректною постановкою завдання, коректним використанням теоретично обґрунтованого науковим співтовариством і апробованого математичного апарату на базі методів інтелектуального аналізу даних та обчислювального інтелекту.

Також достовірність підтверджується використанням сучасних засобів і методик проведення досліджень, результатами проведених експериментальних досліджень і відповідним порівняльним аналізом.

У дисертації здобувач вперше запропонував загальний системний підхід, щодо розв'язання задачі прогнозування нелінійних нестаціонарних процесів, що містить в собі ефективне поєднання різних моделей і методів щодо первинної обробки та фільтрації даних, моделювання лінійної та нелінійної складової, адаптації моделі.

Наукові дослідження були виконані здобувачем на кафедрі математичних методів системного аналізу НН ІПСА КПІ ім. Ігоря Сікорського в рамках НДР:

1. Проектування системи підтримки прийняття рішень (СППР) для розв'язання задач системного діагностування відмовостійких розподілених систем (ВСРС). 2018. 2019. № ММСА–2018, номер державної реєстрації: 0118U003668.

2. Проектування сучасних систем сервісів на прикладі мобільної медичної системи для мешканців прифронтових селищ у зоні АТО. 2018. 2019. Номер державної реєстрації: 0117U002435.

Всі результати дисертаційного дослідження доведено до високого практичного інженерного рівня та впроваджено у АТ «ПУМБ» з метою

покращення процесів прийняття рішень та побудови стратегій розвитку. Створено систему підтримки прийняття рішень, що побудована на основі оцінок прогнозів за допомогою розробленої загальної методики з використанням методів інтелектуального аналізу даних.

Результати дослідження також впроваджено у навчальний процес кафедри математичних методів системного аналізу НН ІПСА КПІ ім. Ігоря Сікорського.

Наукові дослідження були виконані під керівництвом професора кафедри математичних методів системного аналізу КПІ ім. Ігоря Сікорського, д.т.н., професора Бідюка Петра Івановича.

Отже, в дисертаційній роботі поставлене наукове завдання підвищення адекватності моделей нелінійних нестаціонарних фінансово-економічних процесів і точності прогнозів їх розвитку шляхом застосування сучасних моделей інтелектуального аналізу даних та їх комбінуванням з регресійними моделями виконано повністю, здобувач повною мірою оволодів методологією наукової діяльності.

Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності.

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Беласа А.О. повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 122 - Комп'ютерні науки та напрямкам досліджень відповідно до освітньої програми Комп'ютерні науки.

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у науковий напрям «Розробка і застосування моделей і методів інтелектуального аналізу даних».

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадіння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Беласа Андрія Олеговича є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають належні посилання на відповідне джерело.

Мова та стиль викладення результатів.

Дисертаційна робота написана українською мовою.

Текст дисертації характеризується смисловою завершеністю, доступністю викладення, цілісністю й логічною послідовністю. Дисертація написана з використанням сучасного наукового стилю, що склався в технічних науках та термінології, яка с прийнятою у науковому напрямку, до якого відноситься дисертація. Робота написана на високому стилістичному рівні.

Дисертація складається з вступу, 4 розділів, висновків та списку літератури. Загальний обсяг дисертації 224 сторінки.

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовано мету роботи та завдання, які поставлені для її досягнення, відзначено наукову новизну і практичну цінність одержаних результатів, особистий внесок здобувача, а також подано інформацію щодо апробації результатів проведених досліджень.

У **першому розділі** дисертаційної роботи наведено різні приклади актуальних задач моделювання та прогнозування нелінійних нестаціонарних процесів (в енергетиці, екології, медицині, економіці, тощо). Наводиться історичний розвиток аналітичних підходів для розв'язання поставленої задачі. У розділі також формулюється системний підхід до розв'язання задачі прогнозування нелінійних нестаціонарних процесів на основі методів інтелектуального аналізу даних з використанням статистичних даних, що складається з етапів Sampling, Exploring, Modifying, Modeling, Assessing, які покривають всі етапи дослідження процесів з різних аспектів. Також приділяється увага існуючим програмним засобам для аналізу та прогнозування нелінійних нестаціонарних процесів.

Другий розділ дисертації присвячений математичним моделям, методам та підходам для опису, аналізу та обробки нелінійних нестаціонарних процесів. Автор зазначає, що незважаючи на широкий спектр існуючих процесів в природі, їх можна умовно розділити на деякі класи, щодо наявності в них нелінійних елементів чи нестаціонарності різної природи, що в свою чергу значно спрощує та покращую процес їх дослідження. Основну увагу приділено відповідним статистичним тестам, щодо встановлення належності стохастичних процесів до певного класу, таким як тест Уайта та KPSS тест. Разом з цим, увагу приділено також методам обробки аномальних та пропущених значень, а також процедурам цифрової фільтрації.

Третій розділ присвячений математичним моделям і методам для моделювання та прогнозування нелінійних нестаціонарних процесів. Увага приділяється як регресійним моделям, що використовуються для виділення та моделювання лінійної складової процесу, а також нейронним мережам для моделювання нелінійної складової. Показані критерії якості, що можуть застосовуватись для оцінки якості прогнозів. Встановлені методи оптимізації параметрів моделей. Показана необхідність адаптивної побудови моделей прогнозування.

У **четвертому розділі** наводяться результати експериментів з побудови моделей та прогнозів вибраних процесів на реальних статистичних даних. Автором було проведено ряд експериментів із використанням запропонованого підходу до моделювання та прогнозування нелінійних нестаціонарних процесів та виконано порівняльний аналіз з існуючими моделями і методами. Зазначається, що результати, отримані за розробленим AR-CNN підходом виявляються оптимальними за вибраними критеріями.

Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

Оприлюднення результатів дисертаційної роботи.

Наукові результати дисертації висвітлені у 8 наукових публікаціях здобувача, серед яких: 4 статті у наукових виданнях, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України; 1 стаття у періодичному науковому виданні іншої країни проіндексованому у міжнародних наукометричних базах.

Також результати дисертації були апробовані на 3 наукових фахових конференціях, за результатами яких опубліковані відповідні матеріали.

Все це свідчить про те, що результати одержані здобувачем, пройшли ретельну фахову експертизу як в Україні, так і на міжнародному рівні, і таким чином можуть вважатись обґрунтованими та достовірними. В усіх публікаціях дотримуються принципи академічної доброчесності.

Таким чином, наукові результати описані в дисертаційній роботі повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувача.

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.

1. У роботі змішано розуміння деяких загальних понять і термінів, так як: модель, метод, методика, підхід, що іноді ускладнює сприйняття роботи. Зокрема, наприклад запропоновану в розділі 1.3. загальну методику моделювання і прогнозування можливо варто назвати як системний підхід.

2. Виходячи з назви роботи, варто було б в роботі вказати власне повний перелік моделей і методів інтелектуального аналізу даних, що були використані.

3. Для методів виявлення аномальних значень виконаний детальний огляд існуючих методів, але цей аналіз не доведено до кінця, не запропоновано формального системного підходу, окрім деяких евристичних правил.

4. В якості альтернативного підходу до моделювання варто було розглянути підходи системного аналізу, а саме такі, що базуються на апроксимації поліноміальними функціями і в теорії також можуть моделювати нелінійні процеси.

5. Дуже цікавою є ідея із застосуванням згорткових нейронних мереж для моделювання нелінійної складової процесу, однак обрана в роботі архітектура відповідних мереж є доволі простою. Можливо, вдалося б досягти ще кращих результатів, використавши більш глибокі та складні архітектури, як то AlexNet, ResNet, тощо.

Вважаю, що висловлені зауваження не є визначальними і не зменшують загальну наукову новизну та практичну значимість результатів та не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи.

Висновок про дисертаційну роботу.

Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Беласа Андрія Олеговича на тему «Моделі і методи інтелектуального аналізу даних для прогнозування нелінійних нестаціонарних процесів» виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є закінченим науковим дослідженням, сукупність теоретичних та практичних результатів якого розв'язує наукове завдання, що має істотне значення для галузі знань Інформаційні технології. Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в п.6 – 9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44.

Здобувач Белас Андрій Олегович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань Інформаційні технології за спеціальністю 122 - Комп'ютерні науки.

Офіційний опонент:
Завідувач кафедри
інформаційних технологій
Київського національного університету
будівництва і архітектури,
д.т.н., професор _____ Світлана ЦЮЦЮРА

« 23 » січня 2023 року

Підпис д.т.н., проф. Світлани ЦЮЦЮРИ,
засвідчую.
Секретар Вченої ради КНУБА Микола КЛИМЕНКО