

## **ВІДГУК**

офіційного рецензента, доктора технічних наук, професора,  
завідувачки кафедри інформаційних технологій  
Київського національного університету будівництва і архітектури

**Гончаренко Тетяни Андріївни**

на дисертаційну роботу

**Трунова Олексія Ігоровича**

на тему **«Інформаційна технологія підтримки прийняття рішень при  
забезпеченні інформаційної безпеки транспортно-логістичного центру»**,

представлену на здобуття ступеня доктора філософії  
за спеціальністю 122 – Комп'ютерні науки галузі знань  
12 – Інформаційні технології

### **Актуальність теми дисертації**

Актуальність теми дисертаційного дослідження зумовлена активним розвитком сучасних інформаційно-комунікаційних систем, у яких розподілені компоненти оброблення даних інтегруються у єдині кіберфізичні простори логістичної інфраструктури. За таких умов забезпечення інформаційної безпеки (ІБ) та захисту даних є однією з ключових умов надійного функціонування систем, оскільки від достовірності, конфіденційності та незмінності потоків інформації безпосередньо залежить коректність процесів операційного управління, комплексного аналізу та прийняття стратегічних рішень. Особливої важливості ця проблема набуває у транспортно-логістичних центрах (ТЛЦ), які в умовах воєнного стану та повоєнного інноваційного відновлення України є об'єктами критичної інфраструктури, де будь-яке порушення інформаційного обміну може призвести до призупинення поставок, значних економічних збитків або зниження обороноздатності країни в цілому.

Сучасні умови функціонування логістичних систем характеризуються активним застосуванням засобів навмисного дестабілізуючого кібервпливу, здатних реалізовувати складні, скоординовані та адаптивні сценарії атак. Традиційні підходи та стандарти (такі як ISO/IEC 27005 або NIST), засновані на статичних моделях оцінювання, забезпечують ефективність переважно в

умовах прогнозованих перешкод і стабільних середовищ. Однак сучасні кіберзагрози (програми-вимагачі, злам конвергентних IT/OT архітектур, атаки на ланцюги постачання) здатні адаптивно оминати класичні бар'єри захисту, накопичувати інформацію про вразливості систем ТЛЦ та здійснювати цілеспрямоване пригнічення логістичних процесів, що суттєво знижує ефективність відомих методів забезпечення безпеки.

Існуючі моделі управління інформаційною безпекою здебільшого орієнтовані на спрощене представлення ризиків та не враховують високу невизначеність середовища, динамічну зміну пріоритетів у часі, накопичувальний характер дестабілізуючих чинників, а також брак ретроспективних даних для навчання систем у реальному часі. Це формує потребу у створенні нових підходів до створення інтелектуальних інформаційних технологій підтримки прийняття рішень, здатних забезпечити комплексний аналіз стану об'єкта та адаптивну оптимізацію захисних заходів залежно від сценаріїв загроз.

Таким чином, тема дисертаційної роботи є актуальною, оскільки спрямована на вирішення важливого науково-практичного завдання, пов'язаного із підвищенням ефективності підтримки прийняття рішень при забезпеченні ІБ ТЛЦ в умовах навмисних дестабілізуючих впливів.

### **Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами**

Дисертаційна робота виконана в межах наукових досліджень, пов'язаних із розробленням методів і моделей забезпечення безпеки та управління логістичними процесами в умовах високої невизначеності інформаційного середовища. Результати дослідження отримано під час виконання державного проєкту прикладного дослідження «Розробка інформаційно-аналітичної системи управління логістичними операціями інноваційного відновлення прикордонних регіонів для забезпечення національної безпеки» (державний реєстраційний номер 0124U000696), а також ініціативної науково-дослідної роботи Національного університету «Чернігівська політехніка» – «Системний аналіз інформаційних процесів

управління логістичною діяльністю» (державний реєстраційний номер 0124U003344), у яких автор брав участь як виконавець.

### **Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни**

Наукові положення, висновки та результати дисертаційної роботи є достатньо обґрунтованими, логічно взаємопов'язаними та підтверджуються результатами теоретичних і експериментальних досліджень. Для досягнення поставленої мети автором використано сучасні методи комп'ютерного моделювання, теорії нечітких множин, обчислювального інтелекту (нейронечіткі мережі ANFIS), нечіткого багатокритеріального аналізу (Fuzzy ANP), алгоритмічної оптимізації (Rete) та стандарти структурно-функціонального моделювання (IDEF0, DFD, UML). Достовірність отриманих результатів забезпечується коректністю використаного математичного апарату, узгодженістю результатів моделювання з відомими теоретичними положеннями, а також апробацією результатів дослідження у наукових публікаціях, доповідях на науково-практичних конференціях і практичним впровадженням розроблених рішень у діяльність підприємств логістичної галузі (ТОВ «СІБЕРТРАНС»).

Наукова новизна дисертаційної роботи полягає насамперед у тому, що автором **уперше розроблено трирівневу ієрархічну модель класифікації факторів впливу на рівень ризику ІБ ТЛЦ**, яка забезпечує системне структурування та врахування взаємозалежності різномірних чинників, специфічних для кіберфізичних систем логістичних центрів. Важливим науковим результатом є також **уперше запропонована концептуальна модель інтегрального оцінювання ризику ІБ**, яка базується на інтеграції експертної нечіткої оцінки та адаптивної нейронечіткої системи висновків (ANFIS) з поліноміальною функцією другого порядку, що забезпечує підвищення точності оцінки у динамічному середовищі за умов дефіциту початкових статистичних даних. Крім того, у роботі **удосконалено метод Fuzzy ANP** для пріоритезації факторів ризику за рахунок інтегрованого

поєднання підходів Чанга та Баклі із введенням коефіцієнта впевненості експерта, що дозволяє усунути проблему нульових ваг та підвищити об'єктивність багатокритеріального оцінювання. **Набув подальшого розвитку метод обробки правил нечіткого виводу** за рахунок дворівневого застосування оптимізаційного алгоритму Rete в архітектурі системи підтримки прийняття рішень, що дозволило суттєво збільшити швидкість обчислень при аналізі ризиків у реальному часі.

Практична значущість одержаних результатів підтверджується можливістю використання розроблених моделей, методів та алгоритмів під час створення й дослідження сучасних систем підтримки прийняття рішень для захисту логістичної інфраструктури, а також їх впровадженням у діяльність підприємств та освітній процес закладу вищої освіти.

### **Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності**

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Трунова О. І. повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 122 – Комп'ютерні науки та напрямкам досліджень відповідно до освітньо-наукової програми «Комп'ютерні науки».

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у науковий напрям «Комп'ютерні науки».

Розглянувши звіт подібності та результати перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадиння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Трунова О. І. є результатом самостійних наукових досліджень та не містить елементів фальсифікації, фабрикації, компіляції, плагіату чи недоброчесних запозичень. Виявлені текстові співпадиння пов'язані з використанням загальноприйнятої наукової термінології, а також із наведенням фрагментів власних наукових публікацій автора, на які в дисертації наведено відповідні посилання. Використані ідеї, результати та

наукові положення інших авторів мають належні посилання на відповідні джерела.

### **Мова та стиль викладення результатів**

Дисертаційна робота написана українською мовою. Текст дисертації викладено логічно й послідовно та оформлено відповідно до чинних норм. Автор дотримується наукового стилю та використовує загальноприйняту термінологію.

### **Структура та зміст дисертації**

Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Кожний розділ містить відповідні висновки. Загальний обсяг дисертації становить 248 сторінок, з яких 164 сторінки основного тексту (робота містить 51 рисунок та 36 таблиць).

У вступі наведено обґрунтування актуальності обраної теми, сформульовано мету та основних завдань дослідження, визначено об'єкт і предмет дослідження, охарактеризовано використані методи дослідження. Також висвітлено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, подано інформацію щодо апробації результатів роботи, публікацій автора та впровадження результатів дослідження.

У першому розділі проаналізовано сучасний стан розвитку логістичної інфраструктури та підходів до підтримки прийняття рішень в управлінні ІБ ТЛЦ в умовах дестабілізуючих впливів та воєнних ризиків. Розглянуто особливості функціонування об'єкта захисту, досліджено чинники інформаційної невизначеності та дефіциту ретроспективних даних, що впливають на стійкість систем ТЛЦ. За результатами проведеного аналізу сформовано теоретичну основу для подальшого розроблення математичних моделей оцінювання рівня ІБ та синтезу інтелектуальних підходів до управління ризиками.

У другому розділі виконано розробку математичного забезпечення інформаційної технології оцінювання ризиків ІБ ТЛЦ. Представлено

концептуальну гібридну модель інтегрального оцінювання, яка поєднує експертну нечітку модель стратегічного аналізу на основі трирівневої ієрархії факторів та адаптивну нейронечітку модель висновків ANFIS із поліноміальною функцією другого ступеня. Сформовано задачу умовної оптимізації керованих факторів захисту на основі символічного аналізу градієнтів для реалізації прескриптивної аналітики.

У третьому розділі запропоновано архітектурні рішення та виконано проектування інформаційної технології підтримки прийняття рішень. За допомогою інструментів IDEF0, DFD та UML описано сценарії взаємодії та внутрішні процеси багатокомпонентної сервіс-орієнтованої архітектури. Описано програмну реалізацію ключових обчислювальних модулів: фазифікації, удосконаленого Fuzzy AHP, автоматизованої генерації бази знань Mamdani, швидкого логічного виведення Rete та адаптивного ядра ANFIS.

У четвертому розділі наведено результати експериментальних досліджень та практичної верифікації розробленої ІТ ППР. На основі 3072 прецедентів (а також масиву тривалого моніторингу) підтверджено високу точність обчислювального нейронечіткого ядра ( $RMSE = 0,0017$ ,  $Accuracy = 95,2\%$ ). Обґрунтовано стратегічні рекомендації щодо захисту, доведено високу ефективність прескриптивної оптимізації та інвестицій у культуру ІБ персоналу порівняно з технічним переоснащенням, а також описано структуру створеного вебзастосунку «SecureFuzzy».

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**

Основні наукові результати дисертаційної роботи висвітлено у 19 наукових публікаціях, серед яких 5 наукових статей, у тому числі 3 статті у фахових наукових виданнях України та 2 статті у міжнародних наукових виданнях, що індексуються у наукометричних базах Scopus та Web of

Science, 1 свідоцтво про реєстрацію авторського права на комп'ютерну програму, а також 14 публікацій у матеріалах наукових конференцій.

Опубліковані наукові праці повною мірою відображають основні результати дисертаційного дослідження, зокрема розроблені методи, моделі та результати обчислювальних експериментів.

Порушень принципів академічної доброчесності у наукових публікаціях не виявлено, що свідчить про належний рівень апробації та достовірності отриманих результатів.

Таким чином, основні положення та результати дисертаційної роботи достатньо повно висвітлені у наукових публікаціях здобувача.

### **Зауваження та дискусійні питання.**

Загалом високо оцінюючи подану роботу і вважаючи її належно відповідною кваліфікаційним вимогам дисертації на здобуття наукового ступеня «доктор філософії», маю відзначити наявність окремих зауважень і дискусійних положень, що потребують додаткового обґрунтування, уточнення та роз'яснення.

1. У науковій новизни «вперше розроблено» здобувачем запропоновано модель інтегрального оцінювання ризиків на основі системи ANFIS з поліноміальною функцією другого порядку. Проте у тексті дисертації недостатньо обґрунтовано вибір саме поліноміальної функції другого порядку типу Такагі-Сугено порівняно з більш традиційними лінійними функціями або функціями вищого порядку. Крім того, використання поліномів вищих степенів у нейронечітких мережах часто призводить до ефекту перенавчання та значного зростання кількості параметрів налаштування. Хотілося б бачити порівняльний аналіз обчислювальних витрат та стійкості моделі до перенавчання при зміні динаміки вхідних даних ТЛЩ.

2. При удосконаленні методу Fuzzy АНР для пріоритезації факторів ризику було об'єднано підходи Чанга та Баклі, а також введено «коефіцієнт впевненості експерта. Разом з тим, підхід Чанга в науковій спільноті часто

критикують за те, що він може присвоювати нульову вагу деяким важливим критеріям у процесі розрахунку ступеня можливості. У роботі недостатньо висвітлено, яким чином модифікація методу та введення коефіцієнта впевненості нівелюють цей відомий недолік підходу Чанга, та як саме перевірялася узгодженість експертних матриць парних порівнянь у нечіткому середовищі.

3. Здобувач розвиває метод обробки нечітких правил за рахунок дворівневого застосування алгоритму порівняння зразків Rete в архітектурі ANFIS, що спрямовано на підвищення швидкодії. Проте відомо, що алгоритм Rete демонструє високу ефективність у системах із відносно стабільною базою фактів і правил, але вимагає значних витрат пам'яті на збереження мережі альфа- та бета-вузлів. Оскільки ТЛЦ є високодинамічною кіберфізичною системою, де характеристики факторів ризику постійно змінюються, у дисертації варто було б навести кількісні показники оцінки затрат оперативної пам'яті при масштабуванні кількості нечітких правил.

4. У третьому розділі представлено опис програмної реалізації розробленої ІТ. Здобувач обґрунтовано базує програмне рішення на об'єктно-орієнтованому підході (ООП), де кожен вузол Rete-мережі представлений як окремий об'єкт із власним станом та методами обробки токенів. Проте опис основних класів реалізації Rete-мережі наведено у формі таблиці 3.7. Було б доцільно та цілком логічно продемонструвати ієрархію успадкування, асоціації та динаміку взаємодії елементів Rete-мережі у вигляді стандартної UML-діаграми класів. Це дозволило б глибше оцінити модульність, масштабованість та повторне використання розробленого програмного забезпечення для задач інформаційної безпеки ТЛЦ.

*Викладені зауваження не знижують загальної позитивної оцінки опонента щодо відповідності дисертаційної роботи Трунова О. І. кваліфікаційним вимогам для здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки».*



### **Висновок про дисертаційну роботу**

Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Трунова Олексія Ігоровича на тему «Інформаційна технологія підтримки прийняття рішень при забезпеченні інформаційної безпеки транспортно-логістичного центру» є завершеною науковою працею, в якій отримані обґрунтовані наукові результати.

Дисертація відповідає вимогам, які висуваються до дисертаційних робіт, відповідає спеціальності 122 – Комп'ютерні науки галузі знань 12 – Інформаційні технології, «Вимогам до оформлення дисертації», затвердженим Наказом Міністерства освіти і науки України від 12.01.2017 р. № 40 (із змінами, внесеними згідно з Наказом Міністерства освіти і науки України від 31.05.2019 № 759) та «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженому Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44.

Здобувач Трунов Олексій Ігорович заслуговує на присудження наукового ступеню доктора філософії за спеціальністю 122 – Комп'ютерні науки галузі знань 12 – Інформаційні технології.

### **Офіційний опонент:**

завідувачка кафедри  
інформаційних технологій  
Київського національного університету  
будівництва та архітектури,  
доктор технічних наук, професор

**Тетяна ГОНЧАРЕНКО**