

**ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА**

доктора технічних наук, професора **Шекети Василя Івановича**  
на дисертаційну роботу **Пелещака Івана Романовича**  
**«Система розпізнавання мультиспектральних образів на основі  
осциляторних нейронних мереж»,**  
представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії  
за спеціальністю 124 *Системний аналіз*  
(галузь знань 12 *Інформаційні технології*)

**Актуальність теми дисертації та зв'язок з науковими планами і програмами**

Актуальність розробки нових нейромережевих методів зумовлена значним зростанням обсягу даних у процесі розв'язування задач Data Mining. Використання технологій штучних нейронних мереж при розв'язуванні задач Data Mining мають низку обмежень. Зокрема, значний використовуваний обчислювальний ресурс і час налаштування синаптичних зв'язків в процесі навчання нейронної мережі та значне число операцій агрегування при апроксимації функції багатьох змінних і розпізнаванні образів. У дисертаційному дослідженні запропоновано усунути такі обмеження завдяки діагоналізації матриці синаптичних зв'язків у базисі вхідних образів та оптимізації структури багатосарової нейронної мережі в межах нелінійної моделі узагальненої похибки. Подальша розробка лінійної та нелінійної моделей осциляторних нейронних мереж щодо задач розпізнавання та шифрування мультиспектральних образів пов'язана з побудовою математичної моделі резонансної осциляторної нейронної мережі та з побудовою гібридної нейро-криптосистеми.

Отже, розробка системи розпізнавання та шифрування мультиспектральних образів на основі осциляторних нейронних мереж для ідентифікації та класифікації нестационарних процесів з підвищеною завадостійкістю до шумів, яку здійснено у дисертаційному дослідженні Пелещака І. Р., є **актуальною для галузі інформаційних технологій** у теоретичному та практичному аспектах.

**Актуальність** дисертаційної роботи підтверджується також і виконанням у межах держбюджетних науково-дослідних робіт, що узгоджуються з науковим напрямком кафедри інформаційних систем та мереж Національного університету «Львівська політехніка», «Дослідження, розроблення і впровадження інтелектуальних розподілених інформаційних технологій та систем на основі ресурсів баз даних, сховищ даних, просторів даних та знань з метою прискорення процесів формування сучасного інформаційного суспільства»:

- «Методи та засоби функціонування систем підтримки прийняття рішень на основі онтологій» (номер державної реєстрації 0118U000269; терміни виконання роботи: 01.2018–12.2019 р.),

- «Система підтримки прийняття рішень розпізнавання мультиспектральних образів на основі технологій машинного навчання та онтологічного підходу» (номер державної реєстрації 0120U102203; терміни виконання роботи: 04.2020–12.2021 р.),

а також тими дисертаційними напрацюваннями, що апробовані на семи міжнародних наукових та науково-практичних конференціях (Львів, 2017 – 2019 рр., Харків, 2017 р., Czech Republic–Ceske Budejovice, 2019 р.).

### **Ступінь обґрунтованості та достовірності наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації**

Достовірність та обґрунтованість наукових положень, висновків та рекомендацій, сформульованих у дисертації, забезпечені шляхом коректного використання сучасної наукової термінології та законів наукових теорій, зокрема, застосуванням наукових методів системного аналізу, абстрагування, індукції та дедукції, аналізу та синтезу, комп'ютерного моделювання. Наукові положення та результати дисертаційного дослідження узгоджуються в граничних випадках з положеннями існуючих наукових теорій, опублікованих у міжнародних наукових рецензованих виданнях та фахових виданнях України, і регулярно обговорювалися на міжнародних наукових та науково-практичних конференціях.

Формулювання наукових положень дисертації здійснювалося з урахуванням актуальних наукових результатів та публікацій у наукових періодичних виданнях, що входять до наукометричних баз Scopus та Web of Science. Висновки та рекомендації, що містяться в дисертаційній роботі, отримані шляхом застосування наукових методів системного аналізу. Структура та зміст дисертації побудовані із збереженням причинно-наслідкових зв'язків між її елементами, що дозволяє перевірити коректність міркувань.

Сукупність зазначених факторів, а саме узгодженість наукових положень з положеннями перевірених суміжних теорій, дотримання методики виконання наукового дослідження, обговорення результатів дисертації на спеціалізованих міжнародних наукових конференціях та наукових семінарах кафедри інформаційних систем та мереж Національного університету «Львівська політехніка», публікація основних положень і результатів дисертації в рецензованих міжнародних наукових виданнях (Scopus та Web of Science), дозволяє стверджувати, що наукові положення, висновки і рекомендації дисертаційного дослідження є **обґрунтованими і достовірними.**

### **Наукова новизна і практичне значення отриманих результатів**

*Наукова новизна* отриманих результатів полягає у розробці системи методів розпізнавання і шифрування мультиспектральних образів осциляторними нейронними мережами. Зокрема,

використовуючи методи системного аналізу, **вперше розроблено** метод стиску вхідних образів на підставі діагоналізації матриці вагових синаптичних зв'язків штучної нейронної мережі та метод розпізнавання мультиспектральних образів осциляторною нейромережею на основі інформаційного резонансу; **удосконалено** метод шифрування інформації ланцюговою, кільцевою нейромережами з нелінійними осциляторними нейронами; а також гібридну нейро-криптосистему, яка застосовує постійно змінний асиметричний ключ для кожного нового вхідного образу завдяки синтезу діагоналізованої нейронної мережі й алгоритму AES; **розвинуто** нелінійну модель оптимізації структури багатошарової нейромережі прямого поширення з мінімальною похибкою узагальнення, яка включає похибку опису моделі та похибку апроксимації.

*Практичне значення* дисертації полягає у застосуванні запропонованих у дисертації методів для розробки і побудови моделей складних інформаційних систем, систем підтримки прийняття рішень та їх програмної реалізації. Наукові положення та рекомендації дисертації використано в межах держбюджетних науково-дослідних робіт з розробки систем підтримки прийняття рішень на основі нейронних мереж. Зокрема, метод стиску вхідних образів завдяки діагоналізації матриці вагових синаптичних зв'язків безпосередньо може бути використаний для зменшення часу налаштування синаптичних зв'язків при навчанні нейромережі та для збільшення коефіцієнта стиску вхідних образів. Метод шифрування вхідних інформаційних сигналів ланцюговою та кільцевою нелінійними нейронними мережами та метод шифрування інформації на основі синтезу алгоритму AES і нейронної мережі з діагоналізованими синаптичними зв'язками можуть бути використані для шифрування вхідних інформаційних сигналів з підвищеним ступенем криптостійкості внаслідок створення постійно-змінного асиметричного ключа шифрування. Осциляторна нейронна мережа може бути використана для нейромережевого детектора виявлення та розпізнавання радіосигналів з амплітудою співмірною рівню шуму за наявності інформаційного резонансу. Нелінійна модель оптимізації структури багатошарової нейронної мережі може бути використана для оцінки параметра складності навчання нейронної мережі (кількість проведених операцій для навчання нейромережі).

### **Аналіз змісту дисертаційної роботи**

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і містить нові наукові положення, висновки та рекомендації з підтвердженням практичним значенням та патентом на корисну модель (Спосіб шифрування цифрової інформації на основі синтезу діагоналізованої нейронної мережі та AES. Національний університет «Львівська політехніка». У 2021 01284. № 3320/3У/21). Структурно дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаної

літератури та трьох додатків. Також містить анотацію, зміст і перелік умовних позначень. Загальний обсяг дисертації – 171 сторінка, з яких 119 сторінок основного тексту.

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертації, визначено об'єкт, предмет та методи дослідження; констатовано наукову новизну та практичне значення одержаних результатів; зазначено особистий внесок здобувача при написанні дисертації, зв'язок теми дисертації з науковими програмами, апробацію наукових результатів, кількість наукових публікацій за темою дисертаційного дослідження, а також короткий опис структури, змісту та обсягу дисертації.

У **першому розділі** дисертації проведено порівняльний аналіз наукової літератури щодо теми дисертаційного дослідження. Зазначено переваги та недоліки існуючих моделей осциляторних нейронних мереж, способів шифрування, стиску та розпізнавання образів нейронними мережами. Аналіз наукової літератури по проблемі дисертаційного дослідження дав змогу сформулювати низку нерозв'язаних задач, а саме: збільшення коефіцієнту стиску інформації без втрат внаслідок діагоналізації матриці вагових синаптичних зв'язків між нейронами; зменшення обчислювального ресурсу і часу налаштування синаптичних зв'язків під час навчання нейронної мережі; зменшення числа операцій агрегування при апроксимації функції багатьох змінних багат шаровою нейронною мережею; оптимізація структури багат шарової нейронної мережі в межах нелінійної моделі узагальненої похибки; підвищення ступеня криптостійкості нейромереж внаслідок створення постійно змінного асиметричного ключа шифрування для кожного нового вхідного образу; урахування числа імпульсів сигналів, які подаються на вхід нейронів та часу релаксації нейрона після потенціалу його дії; розпізнавання мультиспектральних образів осциляторною нейронною мережею на основі інформаційного резонансу з амплітудою сигналу, співмірною рівню шуму.

У **другому розділі** розроблено методи стиску і шифрування вхідних образів на основі діагоналізації матриці вагових синаптичних зв'язків між нейронами. Показано, що діагоналізація матриці синаптичних зв'язків між нейронами приводить до переміщення інформації з недіагональних компонент синаптичних зв'язків до головних діагональних компонент, внаслідок чого інформація стискається. Зазначено, що діагоналізація матриці синаптичних зв'язків між нейронами приводить до зменшення кількості синаптичних зв'язків (з  $N_\lambda^2$  до  $N_\lambda$ ) та до підвищення швидкості навчання нейронної мережі. При такій трансформації структури синаптичних зв'язків взаємодія між усіма нейронами не зникає, а враховується у перенормованих головних синаптичних зв'язках. Сформульовано та доведено модифіковану теорему Хехт-Нільсена, яка описує алгоритм апроксимації функції від  $n$  змінних з заданою точністю  $\varepsilon > 0$  за допомогою однієї операції агрегування у тришаровій штучній нейронній мережі (з одним

прихованим шаром), що, в свою чергу, зменшує використання обчислювальний ресурс та час налаштування вагових коефіцієнтів синаптичних зв'язків у нейронній мережі. Розроблено нелінійну модель узагальненої похибки для нейронної мережі прямого поширення, на основі якої встановлено оптимальне число синаптичних зв'язків та число нейронів у прихованому шарі тришарової нейромережі. Побудовано гібридну нейро-криптосистему AES внаслідок синтезу алгоритму AES та нейронної мережі з діагональними синаптичними зв'язками, яка забезпечує формування нового асиметричного ключа для кожного нового вхідного образу.

У **третьому розділі** дисертації досліджено осциляторні нейронні мережі з лінійними та нелінійними осциляторними нейронами. Для розпізнавання мультиспектральних образів на основі інформаційного резонансу побудовано математичну модель та архітектуру штучної нейронної мережі з лінійними та нелінійними осциляторними нейронами, що мають власну динаміку. У межах евклідової метрики встановлено існування резонансних ефектів у осциляторній нейронній мережі за умови рівності частоти вхідного нестационарного сигналу та власної частоти динаміки нейронів. Розроблена математична модель осциляторної нейронної мережі враховує час релаксації нейрона після потенціалу його дії, умови резонансу та генерацію коливань нелінійним нейроном залежно від співвідношення загального числа імпульсів сигналу до порогового значення, які подаються на вхід нелінійних нейронів. Побудовано нелінійну модель шифрування вхідних інформаційних сигналів за допомогою системи взаємопов'язаних нелінійних осциляторних нейронів з топологією «ланцюжка» та «кільця» завдяки нелінійному перетворенню вхідного інформаційного сигналу нелінійними нейронами. Встановлено, що структура вихідного сигналу на виході нелінійної мережі за формою, амплітудою та часовою залежністю миттєвої частоти несучого інформаційного сигналу має вищий ступінь стохастичності ніж морфологія сигналу на виході окремого нелінійного нейрона. Розроблено спосіб розпізнавання спектральної інформації за допомогою модифікованої осциляторної нейронно-голографічної мережі з діагональними синаптичними зв'язками.

У **четвертому розділі** дисертації представлено результати комп'ютерних експериментів з використанням осциляторних нейронних мереж. Програмно реалізовано алгоритм навчання осциляторної нейронної мережі на мові Python для розпізнавання мультиспектральних образів на основі інформаційного резонансу. Проведено комп'ютерний експеримент розпізнавання мультиспектральних образів у створеній програмі на мові Python та у середовищі «Matlab». Виведено вирази для обчислення оптимального розміру нейромережі у межах нелінійної математичної моделі оптимізації розміру багатошарової нейронної мережі з умови мінімуму узагальненої похибки. У середовищі «Wolfram Mathematica» розраховано графічні залежності узагальненої похибки

мережі від кількості синаптичних зв'язків між нейронами при різних значеннях вхідних образів і фіксованій кількості навчальних прикладів та графічні залежності оптимальної кількості синаптичних зв'язків від числа навчальних прикладів при різних значеннях вхідних образів. Встановлено, що з ростом кількості вхідних образів та кількості навчальних прикладів мінімум узагальненої похибки зсувається в сторону більшої кількості синаптичних зв'язків.

### **Повнота викладення результатів дисертації в опублікованих наукових працях, зарахованих за темою дисертації**

Основні результати дисертаційного дослідження опубліковано у 21-й науковій праці. Серед них 1 монографія (зарубіжне наукове видання), 2 статті у фахових виданнях України, що входять до міжнародних наукометричних баз (з них 1 індексується у базі Scopus, 1 у базі Web of Science), 1 стаття у фаховому виданні України, 5 статей у наукових періодичних виданнях інших держав, що входять до наукометричної бази Scopus, 1 стаття у науковому періодичному виданні іншої держави, 5 матеріалів міжнародних наукових та науково-практичних конференції, які індексуються у базі Scopus, 1 патент на корисну модель, 5 наукових праць, які додатково відображають наукові результати дисертації.

Наукові публікації Пелещака І. Р. відповідають п. 11 «Тимчасового порядку присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 06 березня 2019 року № 167 (зі змінами від 09.06.2021 р. № 608).

### **Дотримання вимог академічної доброчесності**

За результатами перевірки тексту дисертаційної роботи та наукових публікацій Пелещака І. Р. ознак академічного плагиату не виявлено. У дисертації ідеї, гіпотези, наукові положення інших авторів мають посилання на відповідні публікації. Узгодженість тексту дисертації та його обґрунтованість свідчать про відсутність ознак фальсифікації. Зазначені аргументи дозволяють зробити висновок про відсутність порушення академічної доброчесності в дисертаційній роботі Пелещака І. Р. «Система розпізнавання мультиспектральних образів на основі осциляторних нейронних мереж».

### **Зауваження та дискусійні положення щодо змісту дисертації**

Дисертаційна робота Пелещака І. Р. «Система розпізнавання мультиспектральних образів на основі осциляторних нейронних мереж» містить нові наукові результати, актуальні для сфери системного аналізу. Проте їй властиві окремі недоліки та дискусійні моменти, що потребують висвітлення:

1. Центральним елементом роботи є технологія нейромереж в тому числі в контексті задач *Data Mining*. Проте з представлених матеріалів не зрозуміло чи автор аналізує застосовність підходу *Rules-based* в контексті досліджуваної проблеми.
2. Також автором чітко не окреслено домен застосовності розробленої ним нейромережевої технології, що є прямим результатом застосованої ним *оригінальної* методології системного аналізу, яка безумовно заслуговує на увагу.
3. Автор по тексту роботи більше ста разів використовує термін «функція» в різних конотаціях, але теоретичні викладки функціональних імплементацій не дозволяють оцінити перспективи їх катигоризації та введення відповідних *функторних інтерпретацій*.
4. В представленій реалізації не вводиться чіткої класифікації та стратифікації даних по рівнях їх структурованості та чіткості за діапазоном «*crispy-fuzzy*».
5. На мою думку цінним також привнесенням до роботи було б дублювання ключових термінів по тексту роботи їх англійськими аналогами, оскільки, нажаль, українська термінологія в даній області не є ще достатньо усталеною.

Проте, слід підкреслити, **що вказані зауваження аж ніяк не зменшують цінність отриманих результатів дисертаційного дослідження і жодним чином не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи.**

**Висновок про відповідність дисертації вимогам МОН України**  
 Дисертація Пелещака І. Р. «Система розпізнавання мультиспектральних образів на основі осциляторних нейронних мереж» є завершеною науковою працею, у якій вирішено конкретні наукові завдання розробки системи розпізнавання та шифрування мультиспектральних образів на основі осциляторних нейронних мереж, що має важливе значення для галузі знань «Інформаційні технології».

Подана до захисту дисертація за структурою, мовою та стилем викладення відповідає вимогам МОН України. Матеріал викладено у логічній послідовності, висновки науково обґрунтовані. Анотація розкриває основні положення та висновки дисертації, є ідентичною за структурою та змістом і не містить інформації, відсутньої у дисертації.

Зміст дисертаційної роботи відповідає обраній темі, забезпечує досягнення мети і вирішення завдань дослідження та відповідає вимогам

наказу МОН України № 40 від 12.01.2017 р. «Про затвердження вимог до оформлення дисертації» (зі змінами № 759 від 31.05.2019 р.), «Тимчасовому порядку присудження ступеня доктора філософії» (Постанова Кабінету Міністрів України від 06.03.2019 р. № 167 зі змінами № 608 від 09.06.2021 р.).

Актуальність теми дослідження, ступінь наукової новизни, теоретичне і практичне значення, достовірність висновків і рекомендацій, які отримано у дисертаційній роботі «Система розпізнавання мультиспектральних образів на основі осциляторних нейронних мереж», дають змогу зробити висновок, що вона відповідає спеціальності 124 *Системний аналіз*, галузі знань 12 *Інформаційні технології*, а її автор **Пелещак Іван Романович** заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 124 *Системний аналіз*.

**Офіційний опонент,**

доктор технічних наук, професор,  
завідувач кафедри інженерії програмного забезпечення  
Івано-Франківського національного  
технічного університету нафти і газу



**ШЕКЕТА В. І.**

Підпис Шекети В. І. засвідчую.

**Вчений секретар,**

доцент, кандидат технічних наук,  
доцент кафедри прикладної математики  
Івано-Франківського національного  
технічного університету нафти і газу



**ПРОЦЮК В. Р.**