

**Відгук**  
**офіційного опонента**  
**на дисертаційну роботу Бологової Наталії Миколаївни на тему:**  
**«Модель, методи та інформаційна технологія автентифікації цифрових**  
**зображень у прикладних системах користувача», що представлена на**  
**здобуття наукового ступеня доктора філософії**  
**за спеціальністю 126 – Інформаційні системи та технології,**  
**галузь знань 12 – Інформаційні технології**

**1. Актуальність теми**

Використання сучасних методів обробки цифрової інформації дозволяє не санкціоновано отримати стороннім особам матеріал, порушуючи права власності. На даний час ця задача є актуальною і потребує розроблення підходів та нових інформаційних технологій, забезпечуючи механізми автентифікації зображень стійких до зовнішнього впливу і виключення можливостей їх модифікації. Однією з найважливіших у низці таких проблем є централізована технологія підтвердження права власності на цифрові зображення.

Дисертаційну роботу присвячено вирішенню актуальної задачі розробки вдосконалених та нових методів інформаційної технології підтвердження права власності на цифрові зображення, яка використовує сучасні тенденції в галузі цифрових водяних знаків та блокчейну для створення нової децентралізованої технології підтвердження права власності на цифрові зображення.

Виходячи з цього, можна зробити висновок про актуальність теми дисертаційної роботи Бологової Н.М.

**2. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.**

Дисертаційну роботу виконано відповідно до плану науково-дослідних робіт Харківського національного університету радіоелектроніки в рамках

держбюджетної НДР «Дослідження сучасних методів криптографічного захисту для застосування у постквантовий період» (№ ДР 0120U100109), затверджених Міністерством освіти і науки України.

### **3. Ступінь обґрунтованості, та достовірності наукових положень, висновків сформульованих у дисертації.**

Достовірність результатів дисертації забезпечено коректністю постановки задачі дослідження. В роботі представлено показник оцінки стійкості методів нанесення цифрових водяних знаків, який враховує всі типи атак і дозволяє провести комплексну оцінку стійкості методу вбудови цифрових водяних знаків, розроблені методи генерації ЦВЗ на основі хаотичних карт та додаткової фільтрації цифрового водяного знаку, запропоновано інформаційну технологію підтвердження права власності на цифрові зображення, яка використовує цифрові водяні знаки, блокчейн, хеш-функції для зображення і IPFS для створення нової децентралізованої технології підтвердження права власності у цифрову епоху інтернету.

Таким чином можна стверджувати, що вихідні положення дисертації є коректними, отримані результати та висновки аргументовані, достовірність отриманих результатів підтверджується перевіркою випробувань стійкістю даної конструкції до геометричних і негеометричних атак.

### **4. Новизна наукових положень та висновків.**

В ході роботи сформульовано нові наукові положення та висновки, отримано ряд нових результатів, які мають суттєве значення, а саме:

1. Вперше запропоновано комплексний критерій оцінки ефективності методів вбудови цифрових водяних знаків на зображення, який побудовано з урахуванням ключових характеристик та визначенням вагових коефіцієнтів, дозволяє провести комплексну оцінку ефективності методу нанесення цифрових водяних знаків.

2. Вдосконалено метод надійної перевірки справжності цифрового

зображення з високим ступенем захисту. Надійність досягається за рахунок того, що ЦВЗ ховається не в усьому зображенні, а в його фрагменті, який найбільше підходить для приховування зображення, а також застосування як ЦВЗ заводових кодів.

3. Вдосконалено метод підвищення стійкості стегосистеми за рахунок врахування ключових показників. Описаний у роботі метод псевдогологографічного кодування цифрових водяних знаків є ефективним для протидії усім типам атак, що розглядалися, окрім повороту зображення.

4. Отримали подальшого розвитку методи генерації ЦВЗ для цифрових зображень, а саме розроблено методи генерації ЦВЗ на основі хаотичних карт та додаткової фільтрації цифрового водяного знаку. Описані у роботі методи є ефективними для забезпечення стійкості ЦВЗ до локальних спотворень. Як показали дослідження, при 60 % спотворення зображення можливо відновити 90 % ЦВЗ.

5. Удосконалено інформаційну технологію підтвердження права власності на цифрові зображення, що ґрунтується на технології блокчейн та цифрових водяних знаках для забезпечення надійної гарантії встановлення авторських прав.

## **5. Практичне значення отриманих результатів полягає в такому:**

Результати роботи мають суттєву практичну значимість, які полягають в тому, що розроблені метод надійної перевірки справжності цифрового зображення та інформаційна технологія підтвердження права власності, можуть бути використані на будь-який інтелектуальний твір; бланки, наприкладі запобігання відмиванню коштів і фінансуванню тероризму стосовно віртуальних активів; твори художнього дизайну; мультимедійна мережна інфраструктура; дистанційне навчання; сфера охорони здоров'я; цифрова криміналістика; комп'ютерні програми.

Крім того, отриманні результати можуть бути використанні в освітній діяльності закладів вищої освіти.

## **6. Зміст, завершеність, стиль вкладу, публікації, апробація.**

Дисертація складається зі вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків. Загальний обсяг дисертації складає 217 сторінки, що містять 165 сторінки основного тексту, анотація на 17 сторінках, 91 рисунок, 3 таблиці, список використаних джерел із 125 найменувань на 15 сторінках, 5 додатків на 34 сторінках.

У першому розділі проаналізовано проблеми й особливості задач забезпечення авторського права та підтвердження автентичності цифрових зображень та існуючі методи основних засобів захисту авторських прав на твори, розміщені в інтернеті: обмежена функціональність, часова обмеженість, захист від копіювання, криптографічні конверти.

Захист відбувається на етапі після виявлення порушення, автори та їх правонаступники можуть використовувати певні технічні та правові засоби, до яких належать агент, стенографія, судове переслідування. Здійснено огляд та аналіз технології блокчейн та токenu як засобу охорони авторського права. Здійснено огляд та аналіз водяних знаків як засобу охорони авторського права. Проаналізовано три різні класи цифрових водяних знаків, які залежать від характеристик та способу їх детектування. Проаналізовано атаки на водяні знаки, проведено аналіз та виділено різні надійні підходи для нанесення водяних знаків для захисту конфіденційної інформації в різних сферах застосування.

У другому розділі представлено, класифіковано та порівняно різні алгоритми, які забезпечують сувору та часткову автентифікації. Порівняння ґрунтуються на різних критеріях, таких як виявлення, локалізація, відновлення. Розглянуто автентифікацію зображення за допомогою цифрових підписів на основі вмісту зображення. Останні дослідження у сфері автентифікації зображення були зосереджені на цифрових підписах, нанесених на вміст зображення, ці підходи пропонують високу продуктивність. Досліджено особливості функціональної моделі перевірки автентичності цифрового зображення. Модель перевірки автентичності

цифрового зображення може розглядатися як стеганографічна система, у якій передається інтегрований зашифрований ідентифікатор в область зображення, яке є цифровим водяним знаком. Розроблено комплексний критерій оцінки ефективності методів нанесення цифрових водяних знаків.

У третьому розділі розроблено функціональну модель процесу забезпечення підвищення стійкості методів вбудови цифрових водяних знаків у цифрові зображення основана на псевдогологографічному кодуванні та додатковій фільтрації цифрового водяного знака. Описаний у роботі метод псевдогологографічного кодування цифрових водяних знаків є ефективним для протидії усім типам атак, що розглядалися, окрім повороту зображення. Проведення комплексної оцінки методики підвищення стійкості методу вбудови цифрового водяного знака на основі Вейвлет перетворень показало, що її використання на 20 % покращує стійкість до різних типів атак. У роботі представлено показник оцінки стійкості методів нанесення цифрових водяних знаків, який враховує всі типи атак і дозволяє провести комплексну оцінку стійкості методу вбудови цифрових водяних знаків. Проведено експериментальне дослідження щодо запропонованої методики. Найбільш ефективною ця методика є при втраті частини зображення. При попередній фільтрації ЦВЗ найбільш ефективним є третій метод фільтрації, який полягає в усередненні по клітинці й подальшій бінаризації. Найменш ефективним є перший метод бінаризації та знаходження статистичної моди по клітинці. Бінаризацію доцільно проводити за алгоритмом Отсу. Для атаки афінного типу, що представляє собою поворот зображення, даний метод є буде ефективним за умови компенсації повороту. Для оцінки кута повороту знаходиться матриця афінного перетворення, що отримується по узгодженому набору відповідних ORB-дескрипторів. Використання цього методу дозволяє безпомилково виділяти цифровий водяний знак для всього діапазону кутів, що досліджувалися. Проведено аналіз хаотичних карт на предмет забезпечення стійкості ЦВЗ, який показав, що використання хаотичних карт для перемішування біт пікселів або самих пікселів на

зображенні можуть забезпечити захищеність та стійкість до спотворень. Розрахунки коефіцієнта кореляції сусідніх пікселів при використанні хаотичних карт свідчать про їх ефективність. Оскільки зображення мають високу надмірність інформації, бажано мати алгоритм, який порушить її. Розроблено методи генерації ЦВЗ на основі хаотичних карт та додаткової фільтрації цифрового водяного знаку. Описані у роботі методи є ефективними для забезпечення стійкості ЦВЗ до локальних спотворень. Як показали дослідження, при 60 % спотворення зображення можливо відновити 90 % ЦВЗ. Проведено експериментальне дослідження щодо запропонованих методів. Гістограми ЦВЗ показали, що обидва методи забезпечують генерацію ЦВЗ випадкової незрозумілої форми. Але метод, заснований на комбінації карт кота Арнольда та карт Генона, має помітні піки на відміну від метода, який заснований на перемішуванні пікселів та їх біт лише за допомогою карт кота Арнольда. Це свідчить про те, що метод, заснований тільки на картах кота Арнольда, має більш хаотичний характер. Про це також свідчить і значення коефіцієнта кореляції між сусідніми пікселями, який наближається до 0 і дорівнює 0.0109 для кольорових ЦВЗ та 0.030 для чорно-білих зображень.

Четвертий розділ присвячено інформаційній технології та інформаційній системі підтвердження права власності на цифрові зображення. Беручи до уваги сучасні тренди та результати застосування блокчейн для захисту авторських прав, запропоновано інформаційну технологію підтвердження права власності на цифрові зображення, що ґрунтується на технології блокчейн та цифрових водяних знаках для забезпечення надійної гарантії встановлення авторських прав. Технологія блокчейн володіє такими характеристиками, як децентралізація, захист від підробки та шифрування, розширюваність та гнучкість, що дозволяє ефективно вирішити питання реєстрації та підтвердження цифрового авторського права, також було запропоновано використовувати блокчейн, хеш-функції для зображення і IPFS для створення нової децентралізованої

технології підтвердження права власності в цифрову епоху інтернету.

Основні положення та наукові результати дисертації досить повно викладено у 14 наукових працях автора за темою дисертації, зокрема 7 статей, з них – 6 статей у фахових періодичних виданнях України з технічних наук, з яких 2 – категорії А (індексується в Scopus); 4 – категорії Б, 1 стаття у інших виданнях (Індія), 7 тез доповідей у матеріалах міжнародних наукових конференцій.

Дисертація відповідає сучасним вимогам до стилю та оформленню наукового тексту.

### **7. Зауваження по дисертаційній роботі.**

1. Відсутнє обґрунтоване пояснення вибору методів бінаризації та шумопригнічення.

2. В роботі слід було провести порівняльний аналіз розглянутих методів карт хаосу.

3. Третій розділ дисертаційної роботи містить значну кількість результатів експериментальних досліджень у формі графіків. Більш раціональним було б розміщення цих результатів у Додатку.

4. В роботі є декілька синтаксичних помилок.

Подані вище зауваження не знижують загальної позитивної оцінки виконаної роботи та її наукової новизни.

### **8. Висновки по роботі.**

Дисертація Бологової Н.М. «Модель, методи та інформаційна технологія автентифікації цифрових зображень у прикладних системах користувача» є закінченою науковою працею, у якій вирішено актуальну наукову задачу розробки модель, методів та технології, а саме модель надійної перевірки справжності цифрового зображення з високим ступенем захисту від спотворення та підробки. Використання зазначених результатів дозволяє здійснювати вбудову інформації в цифровий контент, у даному

випадку цифрове зображення, застосування запропонованої моделі дозволяє забезпечити справжність цифрового зображення на основі застосування прихованого водяного знаку.

Дисертаційна робота має теоретичне та практичне значення, виконана із дотриманням принципів академічної доброчесності, повністю відповідає спеціальності 126 – Інформаційні системи та технології та пунктам 10-12 «Тимчасового порядку присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою КМУ від 6 березня 2019 року № 167 зі змінами, а її автор Бологова Наталія Миколаївна заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 126 – Інформаційні системи та технології, галузь знань 12 – Інформаційні технології.

**Офіційний опонент:**

Заступник начальника університету з наукової роботи  
Харківського національного університету Повітряних Сил  
імені Івана Кожедуба  
Заслужений діяч науки і техніки України  
доктор технічних наук, професор



Костянтин ВАСЮТА