

67-72-80/1  
20.06.2019р.

## ВІДГУК

офіційного опонента

доктора технічних наук професора Антошук Світлани Григорівни  
на дисертацію Журавля Ігоря Михайловича «Інформаційна технологія  
автоматизованого аналізу металографічних та фрактографічних зображень»,  
яку подано на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук  
за спеціальністю 05.13.06 - інформаційні технології

### Актуальність теми дисертації

Розвиток обчислювальної техніки та оптоелектронної мікроскопії дозволив вирішувати спектр наукових та прикладних проблем в багатьох областях науки і техніки шляхом аналізу зображень. Однією з важливих проблем, що можуть бути вирішені шляхом аналізу металографічних та фрактографічних зображень є дослідження структурних характеристик металів і сплавів, проведення кількісної оцінки складових мікроструктури. Мета такого аналізу металографічних та фрактографічних зображень, який може проводитися проблемно-орієнтованими інформаційними технологіями, може бути різною. Наприклад – неруйнівний контроль застарілих металоконструкцій (таких як мости, трубопроводи, корпуси літаків тощо) або створення нових та покращення властивостей вже існуючих матеріалів.

Слід відмітити, що для створення інформаційної технології автоматизованого аналізу металографічних та фрактографічних зображень необхідно вирішити низку завдань, які враховували б особливості таких зображень. К ним відносяться усунення геометричних спотворень на зображеннях, оптимальний вибір порогу бінаризації в задачах виділення об'єктів на зображеннях зі складною структурою, аналіз текстури зображень, визначення геометрії об'єктів на зображеннях в задачах метричного аналізу та інш. Їх вирішення вимагає системної концепції до опрацювання зображень з врахуванням особливостей предметної області, що є основою створення нової інформаційної технології технологій автоматизованого аналізу металографічних

та фрактографічних зображень, яка дозволить підвищити точність та швидкодію автоматизованого аналізу зображень.

Тому дисертаційна робота Журавля Ігоря Михайловича «Інформаційна технологія автоматизованого аналізу металографічних та фрактографічних зображень» є актуальною.

**Зв'язок теми з планами наукових досліджень установи, де виконувалась дисертація.**

Тема дисертаційної роботи повністю відповідає науковим напрямкам, які виконувалися в рамках держбюджетних науково-дослідних робіт Фізико-механічного інституту ім. Г.В.Карпенка НАН України та у Національному університеті «Львівська політехніка», зокрема науковим дослідженням в області систем і методів обробки, аналізу та розпізнавання зображень, побудови інтелектуальних інформаційних систем, а саме таких “Створення математичних моделей фізичних явищ на базі теорії апроксимації, покращання зображень та розпізнавання образів”, “Створення інтелектуальних інформаційних технологій розпізнавання дефектності об'єктів та аналізу їх геометричних параметрів при технічній діагностиці”, “Розроблення автоматизованих методів кількісного оцінювання розподілу структурних складових та встановлення їх зв'язку з механічними властивостями для оццднолегованих теплостійких сталей”, “Розроблення комп'ютеризованих методів кількісного аналізу елементів зламів і структури трубних сталей, спричинених їх деградацією”, “Розроблення компонентів для синтезу інтегрованих автоматизованих систем управління”.

**Короткий зміст дисертаційного дослідження.**

У вступі обґрунтовано актуальність теми, описано мету та основні завдання досліджень, показано зв'язок з науковими програмами, планами, темами, сформульовано наукову новизну. Розглянуто практичну цінність, реалізацію та впровадження результатів роботи. Наведено дані про особистий внесок здобувача, апробацію роботи та публікації.

У **першому** розділі подано загальний огляд проблематики побудови інформаційної технології, методів та імітаційних моделей обробки, аналізу та розпізнавання зображень. Проведено аналіз та визначено специфіку комп'ютеризованих систем опрацювання візуальних даних у прикладній галузі, за яку вибрано аналіз металографічних та фрактографічних зображень. Це дозволило сформулювати проблему досліджень та основні завдання, які необхідно було розв'язати під час виконання дисертаційної роботи.

**Другий** розділ роботи присвячено дослідженню задач, які полягають у підвищенні інформативності вхідних даних. Для цього вхідні зображення мають характеризуватися високою візуальною якістю, не мати геометричних спотворень, а об'єкти інтересу точно локалізованими. В рамках цього дослідження побудовано метод калібрування цифрових зображень. Він базується на перетвореннях Хафа та усуває геометричні спотворення, найбільш поширеними серед яких є дисторсія, що проявляється при формуванні цифрових зображень через недосконалість оптичних систем. Також розроблено локальні та глобальні методи бінаризації зображень, серед яких слід виділити метод з використанням оптимального порогу. Одна з переваг запропонованого методу полягає в тому, що на етапі бінарної обробки усунуто суб'єктивний фактор у виборі порогового рівня при виділенні об'єктів інтересу.

У **третьому** розділі розроблено методи аналізу структури матеріалу з використанням фрактальних розмірностей, яка є більш чутливою до змін конфігурації структури, чого не може врахувати цілочисельна евклідова геометрія. Серед розроблених у цьому розділі підходів слід виділити метод обчислення фрактальних розмірностей з використанням поверхневого інтегралу, який дає можливість опрацювання не лише бінарні, але й напівтонові зображення та підвищує швидкодію через усунення кроку бінаризації. У роботі встановлено, що фрактальна розмірність є інваріантною ознакою до певних типів афінних перетворень зображень, що дозволяє аналізувати зображення, які сформовані за різних умов зовнішнього освітлення.

**Четвертий** розділ дисертації присвячено методам кількісного аналізу структурних елементів металографічних зображень з використанням

фрактальних розмірностей, які досліджувалися у попередній частині роботи. Серед розроблених підходів слід виділити комп'ютеризований метод визначення геометрії зерен металів і сплавів, який базується на використанні фрактальної розмірності та забезпечує опрацювання металографічних зображень з нечітко окресленими і розривними межами зерен. Перевагою розробленого методу є те, що він дозволяє автоматизувати процес обчислення усереднених діаметрів зерен без необхідності їх інтерактивного редагування. У цій частині роботи побудовано також метод визначення фрактальної розмірності на основі тривимірного представлення зображень елементів контролю авіаційних конструкцій. Він забезпечує підвищену чутливість до невеликих змін площі пошкоджених ділянок і може застосовуватися для моніторингу втомного пошкодження та прогнозування залишкового ресурсу досліджуваного матеріалу.

У п'ятому розділі побудовано методи обчислення метричних характеристик структурних об'єктів на металографічних зображеннях. Зокрема, удосконалено методологію автоматизованого визначення геометрії зерен металу за їх цифровим металографічним зображенням, яка завдяки використанню технологій обробки зображень, фрактальних розмірностей та у відповідності до нормативних документів дала можливість аналізувати зображення з нечіткими та розривними межами зерен металу. Також розроблено метод для виявлення та кількісного аналізу орієнтації та видовженості зерен, який використовується при дослідженні деформаційної текстури металу.

Шостий розділ роботи присвячено методам імітаційного моделювання і візуалізації структури металевих матеріалів за їх зображеннями та реалізовано інтегрування розроблених методів в єдину інформаційну технологію автоматизованого аналізу металографічних та фрактографічних зображень. Проведено порівняльний аналіз та встановлено її переваги з точки зору автоматизації, швидкодії та точності опрацювання візуальних даних. Аналіз моделі синтезу складових інформаційної технології показав, що розроблена інформаційна технологія може успішно застосовуватися також у інших прикладних галузях, що є перевагою.

## **Основні наукові результати досліджень.**

Вивчення та аналіз змісту і результатів дисертаційної роботи дає змогу зробити висновок, що дисертантом обґрунтовано та вирішено науково-прикладну проблему - підвищення точності та швидкодії автоматизованого аналізу зображень, вирішення якої досягнуто через розробку системної концепції модельних підходів до опрацювання зображень з врахуванням особливостей предметної області, що стало основою створення нової інформаційної технології.

## **Наукова новизна одержаних результатів.**

*Вперше розроблено*

- імітаційну модель калібрування цифрових зображень, яка на основі перетворень Хафа та еталонного зображення дає можливість автоматизувати процес усунення геометричних спотворень, що спричинені використанням оптичних систем;

- метод аналізу текстурованості на основі перетворень Хафа з визначенням переважних орієнтацій зерен конструкційних сталей, що робить можливим виділення та аналіз зон локалізації пластичних деформацій в матеріалі, визначення напрямку дії прикладених до елементів конструкцій сил під час експертизи експлуатаційних пошкоджень та з'ясування причин їх виникнення;

- метод обчислення усередненого діаметра зерен металу згідно вимог нормативних документів, який через застосування коригуючого коефіцієнта, забезпечує підвищену на 30% точність оцінки;

- модель зеренної структури металу за металографічними зображеннями на основі діаграм Вороного, що надає нові можливості щодо теоретичних досліджень, спрямованих на прогнозування впливу різних чинників на мікроструктуру металів;

*отримали подальший розвиток:*

- метод бінаризації напівтонових зображень завдяки вибору оптимального значення порогу, обчисленого із застосуванням кореляційної функції. Такий

підхід дає можливість усунути суб'єктивізм при виборі порогу бінаризації та аналізувати зображення, які отримані за різних умов освітлення;

- метод обчислення фрактальної розмірності за тривимірним представленням поверхні, утвореної інтенсивностями елементів зображення, який забезпечує підвищену чутливість до виявлення пошкоджень матеріалу за незначної зміни площі поверхонь ділянок, на яких їх виявили; використовується цей метод для моніторингу втомних пошкоджень на поверхні плакованих елементів алюмінієвих сплавів.

*удосконалено:*

- метод обчислення фрактальних розмірностей, що розширило його можливості для детальнішого аналізу не лише бінарних, а й напівтонових металографічних зображень без їх попереднього порогового опрацювання. Для цього застосовано поверхневий інтеграл, який враховує локальні перепади інтенсивностей на зображенні;

- методологію автоматизованого визначення геометрії зерен металу за їх цифровим металографічним зображенням, яка завдяки використанню технологій обробки зображень, фрактальних розмірностей та у відповідності до нормативних документів дала можливість аналізувати зображення з нечіткими та розривними межами зерен металу.

### **Обґрунтованість та вірогідність наукових результатів.**

Наукові положення автор дисертації обґрунтував на основі аналізу теоретичних розрахунків, математичних моделей та великої кількості експериментальних даних. Такий підхід підтверджує достовірність отриманих наукових положень, висновків та рекомендацій. Достовірність отриманих результатів підтверджується їх узгодженістю з відомими результатами металографічних та фрактографічних досліджень. Достовірність теоретичного моделювання забезпечено використанням відомих теорій математичної статистики, коректним використанням чисельної обробки та перевіркою моделей. Для верифікації розроблених методів та засобів використовували результати лабораторних досліджень.

Висновки впливають зі змісту роботи, кожен з яких має експериментальне підтвердження. Основні положення та результати дисертаційної роботи апробовані на авторитетних науково-технічних конференціях і впроваджені на підприємствах нафтогазової та дорожньої галузі.

### **Оформлення дисертації та автореферату**

Дисертаційна робота та автореферат написані на достатньо високому науково-технічному рівні. Опис досліджень має логічну структуру, висновки та рекомендації є доступними для сприйняття. Дисертаційна робота складається з анотації, вступу, шести розділів, висновків, списку використаних літературних джерел, що включає 230 найменувань, додатків, 9 таблиць та 135 рисунків. Загальний обсяг роботи становить 321 сторінки, обсяг основного тексту – 286 сторінок. Роботу оформлено відповідно до вимог МОН України, що висуваються до дисертаційних робіт на здобуття наукового ступеня д.т.н.

### **Відповідність змісту автореферату основним положенням дисертації**

Автореферат та опубліковані за темою дисертації наукові публікації здобувача з достатньою повнотою відображають зміст дисертації. Автореферат за структурою, змістом і оформленням цілком відповідає вимогам МОН України до оформлення матеріалів дисертаційних досліджень.

### **Використання у докторській дисертації результатів наукових досліджень, за якими була захищена кандидатська дисертація**

У докторській дисертації Журавля Ігоря Михайловича не використані результати його дисертації на здобуття ступеня кандидата технічних наук, що була присвячена локально-адаптивним методам підвищення контрастності зображень і захищена в 2001 році.

### **Публікації та апробація результатів дисертації**

Результати дисертації опубліковано у 46 наукових працях, серед них 4 статті у наукових періодичних виданнях інших держав, які включено до міжнародних наукометричних баз Scopus і Web of Science, 18 статей у наукових фахових виданнях України та 24 тези у матеріалах вітчизняних та міжнародних науково-технічних конференцій.

## **Зауваження до дисертації**

1. При аналізі металографічних зображень не враховувалася форма поверхні металу, яка може бути опуклою та ввігнутою, що впливатиме на оцінювання метричних характеристик досліджуваних зразків.

2. У методі калібрування цифрових зображень не враховано вплив інших, окрім дисторсії, чинників на геометричні спотворення при формуванні зображень.

3. У першому розділі дисертації на стор. 42-69 розглянуто низку підходів, які розроблено за участю автора, але відсутні посилання на відповідні публікації.

4. Перевагою деяких з розроблених методів є підвищення ефективності обробки металографічних та фрактографічних зображень з точки зору покращення детальності. Але в роботі відсутня кількісна оцінка цього.

5. Для того, щоб оцінити повторювальність результатів доцільно було б вказати кількість використаних зразків при проведенні експериментальних досліджень.

6. Для бінаризації фрактографічних та металографічних зображень побудовано декілька методів як із застосуванням глобального порогу, так і з використанням ковзного локального вікна. Доцільно було б акцентувати увагу, для яких зображень чи задач який метод застосовувати.

7. У модифікованому методі багатомасштабної статистичної диференціації для оцінювання якості покращання за розробленим алгоритмом варто було застосувати метод кількісної оцінки візуальної якості зображення.

8. У тексті автореферату не до всіх рисунків і формул є пояснення позначень, що утруднює їх сприйняття. Зокрема, на рис. 2 не пояснено параметри  $R$  та  $\Theta$ .

9. Частина матеріалу з третього розділу, де описані способи візуалізації поля фрактальних розмірностей, доцільно біло перенести у шостий розділ, де розглядаються питання візуалізації графічних файлів великого об'єму.

10. У тексті дисертаційної роботи є граматичні помилки та лінгвістичні неточності.

## **Висновок**



1. Дисертаційна робота Журавля Ігоря Михайловича є завершеною науковою працею, в якій автор ґрунтовно та досконало розв'язує актуальну наукову та прикладну проблему - підвищення точності та швидкодії автоматизованого аналізу зображень, вирішення якої досягнуто шляхом розробки системної концепції модельних підходів до опрацювання зображень з врахуванням особливостей предметної області, що є основою створення нової інформаційної технології. Робота відповідає паспорту спеціальності 05.13.06 – «Інформаційні технології» у частині формули спеціальності та низки напрямів досліджень.

2. Робота повністю задовольняє вимогам, які висуваються до робіт на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук, зокрема, за п.п. 9, 10, 12 "Порядку присудження наукових ступенів", затвердженого постановою Кабінету Міністрів України №567 від 24.07.2013 р. (зі змінами), а її автор, Журавель Ігор Михайлович заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.06 - «Інформаційні технології».

### Офіційний опонент

директор навчально-наукового інституту комп'ютерних систем  
Одеського національного політехнічного університету,  
доктор технічних наук, професор

С.Г. Антощук

*Вчений секретар*



*В. І. Шибчук*