

ВІДГУК

офіційного опонента

на дисертаційну роботу *Косаревича Ростислава Ярославовича*

“Розроблення методів аналізу оптичних зображень неоднорідностей на поверхні матеріалу для моніторингу технічного стану об’єктів”,
подану на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук зі спеціальності
05.02.10 - діагностика матеріалів і конструкцій

Актуальність теми дослідження. Ефективність методів і засобів діагностики та неруйнівного контролю характеризується здатністю систем аналізу отриманих сигналів точно виявляти, ідентифікувати та класифікувати прояви різних явищ взаємодії зондуючого сигналу з неоднорідностями матеріалу, що відповідають дефектам. Цифрові зображення можна вважати найпростішою формою аналізу стану конструкції, яка фіксує в момент отримання зображення видимі на поверхні спостережуваного об’єкта неоднорідності або дефекти. В більшості випадків діагностики об’єктів візуальний огляд є першим необхідним етапом, котрий дозволяє зробити початкові припущення про стан об’єкту чи деякої конструкції та необхідність застосування інших засобів дослідження. Обмеженням при цьому може виступати суб’єктивізм та кваліфікація особи, яка проводить огляд. Автоматизація візуального контролю в свою чергу вимагає створення систем інтерпретації візуальної інформації, що дозволяє уникнути згаданого недоліку, а також суттєво зменшити час контрольних перевірок.

Існуючі системи, які реалізують оптико-цифрові методи технічного діагностування та неруйнівного контролю частково вирішують це завдання однак можна зауважити, що їм в переважній більшості характерні такі обмеження як залежність від якості зображень поверхневих неоднорідностей та обмеженість аналізу зображень визначенням кількісних параметрів неоднорідностей. Перевагою в розробці такого роду методів була б можливість роботи із зображеннями отриманими в реальних польових умовах та глибша інтерпретація наявної візуальної інформації. Досягнення цього виглядає можливим завдяки дослідженню та встановленню зв’язків і залежностей як між характеристиками елементів зображень так і між зображеннями неоднорідностями, використовуючи зокрема їх стохастичну природу.

Тому актуальною проблемою є створення як нових математичних моделей процесів реєстрації відбитого оптичного потоку від об’єкту дослідження так і моделей взаємодії його складових частин та методів їх комп’ютерної реалізації,

які дають можливість реалізувати дистанційний контроль технічного стану об'єкта з метою ідентифікації його поточного стану.

Якраз подібна науково - технічна проблема досліджується в дисертаційній роботі, що свідчить про її суттєву актуальність. Іншим підтвердженням цього можна вважати той факт, що задачі, сформульовані в дисертації, відповідають завданням комплексної програми наукових досліджень НАН України «Проблеми ресурсу і безпеки експлуатації конструкцій, споруд та машин», зокрема, розділу: «Розробка методів і нових технічних засобів неруйнівного контролю та діагностики стану матеріалів і виробів тривалої експлуатації».

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана у відділі оптико-електронних інформаційних систем у відповідності до науково-дослідних програм і тематичних планів Фізико-механічного інституту ім. Г.В. Карпенка НАН України. Починаючи з 2001 року і включно до 2016 року автор дисертаційної роботи був відповідальним виконавцем сімох держбюджетних наукових тем, які відповідають напряму дослідження.

Наукові та практичні результати виконаних досліджень використані в учебовому процесі, у лекційних курсах і лабораторних практикумах для студентів Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника.

Мета роботи полягає у вирішенні науково-технічної проблеми - підвищення ефективності методів оптичної мікроскопії поверхневих неоднорідностей матеріалу для моніторингу технічного стану об'єктів шляхом розроблення нових модельних підходів до аналізу металографічних та фактографічних зображень. Аналіз результатів дисертаційних досліджень вказує на досягнення зазначеної мети роботи.

Наукова новизна роботи полягає в наступному:

1. Вперше запропоновано спосіб формування множини точкових полів для півтонових металографічних зображень, який дав змогу представити досліджуваний діагностичний об'єкт як композицію реалізацій випадкових процесів.
2. Розроблено новий метод сегментації півтонових зображень на основі класифікації точкових полів як реалізацій точкових випадкових процесів, якими воно представляється, що дає змогу виділяти неоднорідні за характеристиками об'єкти.

3. Вперше запропоновано визначати параметри структури матеріалу на основі характеристик першого та другого порядку точкових полів, сформованих за оптичними зображеннями.
4. Вперше запропоновано підхід для виявлення взаємного впливу дефектів на деградованій поверхні матеріалу, за визначенням параметрів функції розподілу випадкового точкового процесу з врахуванням взаємодії.
5. Запропоновано нову стохастичну модель розвитку пітингової корозії на поверхні нержавінних сталей на основі Гіббсівських маркованих точкових процесів, яка враховує величину взаємного впливу сусідніх дефектів та описує їх утворення і поширення.
6. Вперше запропоновано проводити класифікацію областей поверхні зламу на основі характеристик першого та другого порядку точкових полів, сформованих за фрактографічними зображеннями.

Практична цінність роботи підтверджується її загальною спрямованістю на розробку методів аналізу металографічних зображень, отриманих в реальних умовах, які відображають конкретні матеріалознавчі проблеми, наприклад, дослідження фрактографічних зображень з метою оцінки зміни структури металу за впливу технологічних чинників як то кількість зупинок обладнання так і зумовлених тривалістю експлуатації що може відображатись концентрацією водню в металі. Слід також відмітити практичну цінність запропонованого методу оцінювання розміру зерна, який можна застосовувати для неповністю виділених міжзерennих границь. Практично більшість характеристик металів залежна від цього показника, тому його коректна оцінка є важливим параметром аналізу стану матеріалу.

Результати роботи використано у філії будівельно-монтажної фірми «Укргазпромбуд» ПАТ «Укртрансгаз», для контролю пошкоджень надzemної частини сталевих трубопроводів, у державному підприємстві «Львівське конструкторське бюро» міністерства енергетики та вугільної промисловості України для оцінки руйнування труб поверхонь нагріву на котлах типу ТП-100, ТП-210, що підтверджено актами впроваджень.

Ступінь обґрунтованості наукових положень дисертації і їх достовірність та новизна.

Обґрунтованість наведених в дисертації наукових положень та висновків базується на успішному визначенні перспективних напрямів вирішення сформульованої проблеми, виборі адекватних моделей досліджень, опрацюванні

недоліків та переваг існуючих методів візуально-оптичного аналізу. комплексним характером експериментів, сучасними математичними методами обробки їх результатів. Адекватність розглянутих в дисертації моделей підтверджується в ряді випадків відповідністю отриманих з їх допомогою результатів для тестових зразків металографічних зображень або за їх порівняння з відомими моделями. Достовірність результатів дослідження підтверджується і їх відповідністю сучасним уявленням про природу дефектів, які діагностуються.

Оцінка змісту дисертації.

Робота складається зі вступу, шести розділів, висновків, списку літератури з 215 найменувань та додатків, в яких наведено допоміжний матеріал та акти впровадження результатів роботи. Загальний обсяг роботи складає 291 сторінка, з них 264 сторінки основного тексту, 104 рисунків і 6 таблиць.

Текст дисертації умовно можна розділити на три частини:

- в першій частині, до якої входить другий розділ, проведено дослідження методів аналізу металографічних зображень, які зводяться вдосконалення раніше відомих модельних підходів сегментації зображень;

- друга частина, яка включає третій та четвертий розділи присвячена аналізу та застосуванню теорії випадкових точкових процесів для побудови характеристик неоднорідностей поверхні матеріалу представленої зображеннями;

- у третьій частині, яка складається з п'ятого та шостого розділів досліджуються розвиток та взаємодія локальних корозійних пошкоджень поверхні матеріалу за допомогою побудови стохастичних моделей та дослідження параметрів маркованих випадкових точкових полів, які сформовані за металографічними зображеннями.

Таким чином, автор структурував та систематизував наукову проблему, сформульовану в дисертації, що дозволило її успішно вирішити.

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми, вказано зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, визначено мету, об'єкт та предмет дослідження, перелічено задачі дослідження та методи дослідження, сформульовано наукову новизну одержаних результатів, практичне значення одержаних результатів, особистий внесок здобувача та наведено апробацію результатів дисертації та публікації.

У **першому розділі** проведено аналіз сучасного стану використання оптично-візуальних методів для діагностики технічного стану об'єктів. Детально розглянуті типові задачі макро- та мікроаналізу поверхні зразка, які можна

розв'язати за допомогою такого роду методів. Виділено переваги та недоліки візуально оптичних методів загалом, в силу обмеженості отримуваної інформації відображенням зовнішнього стану об'єкта так і виокремлено їх складові частини, які впливають на формування кінцевого результату, зокрема методи попередньої обробки зображень та їх аналізу, які в більшості зводяться до сегментації таких зображень та обчислення кількісних характеристик виділених складових. В рамках аналізу існуючих систем обробки металографічних зображень структуровано типові завдання методів попередньої обробки, виділені кращі підходи. Розгорнутий аналіз методів сегментації металографічних зображень дозволив зробити важливий висновок про їх обмеження рамками покладеної в основу методу сегментації моделі зображення та моделі досліджуваного об'єкта та необхідності розвитку нових модельних підходів, які б були більше орієнтовані на фізичну будову матеріалу.

У другому розділі представлені розроблені методи сегментації зображень, які сформовані на засадах раніше відомих підходів, але які доповнено змінами на основі попередньо проведеного аналізу. Так, запропонований критерій однорідності області зображення для задачі визначення ступеня кавітаційного пошкодження поверхні побудований на основі припущення про розміри об'єктів діагностики; метод виділення втомних тріщин отримує перевагу також і завдяки використанню інформації про розміщення пошкодження. Подібним чином методи виділення міжзерennих границь побудовані на основі інтерпретації металографічного зображення як тривимірної поверхні. Слід також відмітити підхід запропонований для сегментації локальних неоднорідностей поверхні, де інтерпретовано візуальний аналіз зображення людиною, що дозволяє в окремих випадках взагалі виділити пошкодження на відміну від існуючих підходів

На прикладах продемонстровано, що запропоновані методи дають змогу отримати більш точні кількісні характеристики пошкоджень ніж відомі аналоги.

У третьому розділі проведено аналіз випадкових точкових процесів з метою дослідження застосування такої моделі для опису металографічних зображень. Показано, що широке коло зображень неоднорідностей на поверхні матеріалу можна представити у вигляді множини точок із випадковим розташуванням, так званих випадкових точкових полів – реалізацій випадкових процесів. Фактично неоднорідність поверхні трактується як деяка випадкова подія, розташування якої може носити випадковий характер або відповідати певним залежностям. Це дозволило застосувати деякі характеристики випадкових точкових процесів, такі як К-функція, функція розподілу відстані до найближчого сусіда, функція кореляції випадкових пар точок та ін. для опису та відображення

залежностей між структурними складовими чи неоднорідностями, які представлені випадковим точковим полем. Зокрема показана можливість встановлення випадкового розташування неоднорідностей на ділянці поверхні, що можна трактувати як ознаку їх незалежності і навпаки відмінне від випадкового – кластерне або регулярне їх розташування вказуватиме на певний вид взаємного зв'язку між ними.

У четвертому розділі автором дисертації розвинuto формування описів елементів структури матеріалів та дефектів поверхні, які представляються точковими полями. Використовуючи функцію кореляції випадкових пар точок показано, що її значення для точкового поля, сформованого на основі металографічного зображення міжзерених границь, можна вважати оцінкою розміру зерна матеріалу. Перевагою запропонованого підходу є обмежені вимоги до якості зображення міжзерених границь. Для дослідження міри деградації матеріалу під час їх тривалої високотемпературної експлуатації запропоновано використати ознаки сформовані на основі розподілу кутів орієнтацій відрізків, що сполучають пари найближчих точок. Крім того перевіряється здатність утворювати скучення з таких пар. Показано що розмір таких скучень може слугувати ознакою існування стрічковості карбідів, а як відомо зміна орієнтації розташування стрічок з карбідів відбувається саме в результаті деградації матеріалу. Розроблено також систему ознак на основі характеристик точкових полів сформованих на основі фактографічних зображень, які дозволяють виділяти на зображені області з однорідним характером руйнування. Це використано при дослідженні залежності площі руйнування певного типу від умов експлуатації виробів енергетичного обладнання.

П'ятий розділ роботи висвітлює проведені дослідження існування взаємного зв'язку між локальними корозійними пошкодженнями поверхні – пітингами. Існування такого зв'язку може впливати на швидкість протікання корозії. Дослідивши численні моделі, які описують взаємодію між елементами точкового процесу показано, що реалізації випадкового точкового процесу із функцією взаємодії у формі Фіксела найбільш точно відображають характер розташування пітингів при лабораторних експериментах, а значення параметрів такої моделі, отримані при мінімізації похибки між модельними та реальними даними, вказують на той чи інший вид взаємодії між ними.

У шостому розділі запропонована стохастична модель зародження та розвитку пітнгової корозії у формі маркованого Гіббсівського випадкового точкового процесу. Особливістю цієї моделі є врахування для прогнозування

максимальної глибини пітинга можливого взаємного впливу корозійних пошкоджень. Для цього пропонується параметри функції взаємодії у формі вік села пов'язувати із глибиною фітинга, а умовну густину ймовірності глибини пітінга із розподілом неоднорідностей зразка матеріалу. Проведена верифікація моделі підтвердила правомірність зроблених припущень: отриманий емпіричний розподіл максимальних глибин відповідає розподілу Гумбеля, результати модельних експериментів узгоджується із проведеними лабораторними дослідженнями, а також корелює з раніше відомими моделями.

У **висновках** сформульовано основні наукові результати дисертаційної роботи.

Дисертаційна робота є завершеною науковою роботою, за структурою, мовою і стилем написання відповідає вимогам МОН України, які ставляться до докторських дисертацій.

Висновок про повноту опублікування основних положень дисертації, аналіз автореферату.

Основні результати дисертаційної роботи в достатній мірі опубліковано в 35 наукових працях, із яких 23 статі у наукових фахових виданнях України та у закордонних наукових журналах, які входять у провідні міжнародні наукометричні бази (Scopus та Web of Science); 11- матеріали міжнародних науково-технічних конференцій та один патент на корисну модель . Основні наукові положення і висновки, які представлені в дисертації та авторефераті, ідентичні між собою. Автореферат повністю відображає актуальність роботи, зміст і суть одержаних наукових результатів, їх практичне значення, детально виокремлює особистий внесок здобувача та демонструє апробацію результатів.

Використання у докторській дисертації результатів, які виносились на захист кандидатської дисертації.

Наукові положення і результати, які були захищені в кандидатській дисертаційній роботі “Структурно-інваріантні алгоритми опису та розпізнавання зображень” у 1999 році за спеціальністю 05.13.06 – Інформаційні технології, яка була захищена в спеціалізованій раді при Державному науково-дослідному інституті інформаційної інфраструктури, не використовуються як наукові результати докторської дисертації здобувача і не виносяться на її захист.

Проте, є низка зауважень по дисертації та автореферату, зокрема:

1. Автором проведено огляд існуючих методів і систем аналізу металографічних зображень, разом з тим, застосування випадкових точкових процесів для аналізу зображень матеріалів обґрунтовано, на мою думку, недостатньо.

2. В дисертації запропоновано низку нових методів дефектоскопічного та дефектометричного аналізу пошкоджених поверхонь матеріалів і конструкцій, проте відсутня систематизація використаних параметрів оцінювання та критеріїв граничного стану, що дещо ускладнює аналіз роботи.

3. Розроблення низки запропонованих у роботі методів аналізу зображень мотивоване їх низьким рівнем контрасту. Для повноти дослідження цих методів вартувало б навести результати їх застосування для аналізу зображень із високим значенням контрасту, а визначення точності та роботоздатності методу провести із використанням не лише модельних (синтезованих), але й реальних металографічних зображень.

4. Третій розділ роботи дещо переобтяжений викладенням зasad теорії випадкових точкових процесів, цей матеріал сприймався б краще, за умов глибшої інтерпретації переваг цього підходу, з точки зору вирішення завдань технічного діагностування.

5. Значну увагу автором приділено розвитку підходів фрактодіагностування (встановленню механізмів, а відтак і причин руйнування матеріалів і конструкцій), проте розглянуто лише в'язкий та крихкий механізми руйнування. Було б бажано обґрунтувати дієвість пропонованого підходу за змішаного механізму руйнування та більш чітко зазначити передумови та обмеження його використання.

6. Було б бажано уточнити параметри опису максимальної глибини пітингів подані на рис. 6.4.

7. Автором запропоновано метод моделювання кінетики зміни глибини пітингів. Було б бажано уточнити якого типу пітинги розглянуто, яким методом вимірювали параметри пітингів експериментально, як проводили порівняння із змодельованими значеннями ?

8. [5, 13, 29] у авторефераті, оформлені із відхиленням від чинних вимог.

Загальні висновки.

Загалом, дисертаційна робота Косаревича Ростислава Ярославовича на тему: "Розроблення методів аналізу оптичних зображень неоднорідностей на поверхні

матеріалу для моніторингу технічного стану об'єктів”, яка представлена на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.10.02 – діагностика матеріалів і конструкцій, є завершеною науковою працею, в якій вирішено наукову проблему підвищення ефективності методів оптичної мікроскопії поверхневих неоднорідностей матеріалу, що застосовуються у системах технічної діагностики, а також отримано нові методи і моделі аналізу металографічних зображень, що дозволяють проводити виділення складових частин досліджуваних об'єктів, їх морфологічний аналіз, а також виявляти взаємний зв'язок між ними.

Робота відповідає вимогам паспорту вказаної спеціальності, а також чинним вимогам п.п. 9, 10, 12, 13 “Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника”, а здобувач заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора технічних наук зі спеціальністю 05.02.10- діагностика матеріалів і конструкцій.

Офіційний опонент:

завідувач кафедри автоматизації
технологічних процесів і виробництв
Тернопільського національного
технічного університету імені Івана Пуллюя,
доктор технічних наук, професор

П.О. Марущак

Підпис д.т.н., проф. Марущака П.О. засвідчує
Вчений секретар Тернопільського національного
технічного університету імені Івана Пуллюя,



Г.М. Крамар