

# Облікова картка дисертації

## I. Загальні відомості

**Державний обліковий номер:** 0820U100099

**Особливі позначки:** відкрита

**Дата реєстрації:** 09-07-2020

**Статус:** Захищена

**Реквізити наказу МОН / наказу закладу:**



## II. Відомості про здобувача

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Момот Андрій Сергійович

2. Momot Andrii S.

**Кваліфікація:** 151

**Ідентифікатор ORCID ID:** Не застосовується

**Вид дисертації:** доктор філософії

**Аспірантура/Докторантура:** так

**Шифр наукової спеціальності:** 151

**Назва наукової спеціальності:** Автоматизація та приладобудування. Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

**Галузь / галузі знань:**

**Освітньо-наукова програма зі спеціальності:** Не застосовується

**Дата захисту:** 30-06-2020

**Спеціальність за освітою:** Прилади і системи неруйнівного контролю

**Місце роботи здобувача:** Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

**Код за ЄДРПОУ:** 02070921

**Місцезнаходження:** проспект Перемоги, 37, м. Київ, Київська обл., 03056, Україна

**Форма власності:**

**Сфера управління:** Міністерство освіти і науки України

**Ідентифікатор ROR:** Не застосовується

### **III. Відомості про організацію, де відбувся захист**

**Шифр спеціалізованої вченої ради (разової спеціалізованої вченої ради):** ДФ 26.002.002

**Повне найменування юридичної особи:** Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

**Код за ЄДРПОУ:** 02070921

**Місцезнаходження:** проспект Перемоги, 37, м. Київ, Київська обл., 03056, Україна

**Форма власності:**

**Сфера управління:** Міністерство освіти і науки України

**Ідентифікатор ROR:** Не застосовується

### **IV. Відомості про підприємство, установу, організацію, в якій було виконано дисертацію**

**Повне найменування юридичної особи:** Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

**Код за ЄДРПОУ:** 02070921

**Місцезнаходження:** проспект Перемоги, 37, м. Київ, Київська обл., 03056, Україна

**Форма власності:**

**Сфера управління:** Міністерство освіти і науки України

**Ідентифікатор ROR:** Не застосовується

### **V. Відомості про дисертацію**

**Мова дисертації:**

**Коди тематичних рубрик:** 28.23.37, 59.45.31

**Тема дисертації:**

1. Удосконалення методу визначення характеристик дефектів багат шарових матеріалів за результатами активного теплового контролю
2. Improvement of the method for defining defects characteristics of multilayered materials by active thermal testing

**Реферат:**

1. У дисертаційній роботі описано особливості та проблеми теплового контролю виробів із багат шарових матеріалів. Показано, що на сучасному етапі розвитку методів теплового неруйнівного контролю важливим завданням є не лише виявлення та визначення координат і поперечних розмірів дефектів багат шарових матеріалів, але і вимірювання їх глибини залягання та розкриття. Розглянуто традиційні математичні та статистичні методи теплової дефектометрії та встановлено їх недоліки. Описано, що аналітичний розв'язок обернених задач теплового контролю в ряді випадків є неоднозначним. Особливо низьку ефективність традиційні методи та побудовані на їх основі системи теплової дефектометрії мають у випадку контролю багат шарових матеріалів. У дисертаційній роботі описано можливості використання штучних нейронних

мереж для удосконалення методів визначення характеристик дефектів. Розглянуто особливості побудови нейромережових систем для вирішення задач класифікації дефектів та визначення їх глибини залягання і розкриття. Проведено порівняння ефективності роботи нейронних мереж та традиційних методів обробки термограм. Показано, що у відомій літературі не вирішуються завдання одночасної класифікації дефектів за типом та визначення їх глибини залягання і розкриття; не досліджено способи визначення глибини залягання дефектів або їх розкриття шляхом вирішення задачі регресії за допомогою нейронних мереж; не вирішується завдання побудови теплових зображень внутрішньої структури об'єкту контролю. Сформовано мету дослідження у вигляді автоматизації процесу активної теплової дефектоскопії та дефектометрії із застосуванням нейромережових технологій, що забезпечуватиме підвищення інформативності, достовірності та ефективності контролю виробів із багатошарових матеріалів. З метою удосконалення методів активної теплової дефектоскопії і дефектометрії та автоматизації обробки даних в дисертації обґрунтовано та розроблено підсистему цифрової обробки термограм, що складається з трьох нейромережових модулів. Описано можливість використання багатошарових нейронних мереж прямого розповсюдження зі зворотним поширенням помилки з повнозв'язними прошарками у складі модуля виявлення та класифікації дефектів та модулів визначення глибини залягання і розкриття дефектів. Сформовано алгоритми формування навчальних множин для задач класифікації дефектів та визначення їх глибини залягання і розкриття. Описано процедуру навчання нейромережових модулів та розроблено відповідне програмне забезпечення в середовищі MATLAB. Виконано програмну реалізацію віртуальних приладів в середовищі NI LabVIEW, в яких втілено алгоритми роботи нейромережових модулів та пост-обробки результатів. Створено графічний інтерфейс користувача, який містить елементи керування, інструменти для проведення дефектометрії та блоки графічного відображення інформації щодо положення дефектів та внутрішньої структури об'єкту контролю. У роботі проведено комп'ютерне моделювання процесу активного теплового контролю зразка із багатошарового вуглепластику зі штучними внутрішніми дефектами. За результатами досліджень ефективності обробки отриманих послідовностей термограм різними методами встановлено, що розроблена нейромережева система забезпечує найвищі показники якості класифікації дефектів та точності дефектометрії серед розглянутих методів. Досліджено вплив архітектури нейронних мереж на результати роботи нейромережових модулів розробленої системи у випадку обробки даних комп'ютерного моделювання. Проведено дослідження впливу обсягу та якості навчальної вибірки на результати роботи нейромережових модулів. Експериментальні дослідження показали, що розроблена система дозволяє проводити безпомилкове виявлення та класифікацію дефектів за типом. Оцінка глибини залягання та розкриття дефектів із використанням розробленої системи відбувається з максимальною похибкою  $\pm 3,19\%$  та  $3,50\%$  відповідно. Доведено, що розроблена система має підвищену достовірність контролю та точність дефектометрії у порівнянні з традиційними алгоритмами навіть в умовах нерівномірного нагріву. На основі результатів досліджень сформульовано рекомендації щодо методики контролю із використанням розробленої автоматизованої системи.

2. The thesis describes that in the present stage of methods of thermal non-destructive testing development important task is not only to identify and determine the coordinates and transverse dimensions of defects, but also to measure their depth and thickness. The factors that influence on results of thermal testing are analyzed and the nature of relationship between informative parameters is described. Traditional mathematical and statistical methods of thermal defectometry are considered and their disadvantages are established. In addition, considered traditional methods of thermogram processing do not allow the automatic classification of defects by type and to determine their thickness. The thesis describes the possibilities of using artificial neural networks for improvement of defect characterization methods. Features of construction the neural network systems for solving tasks of defects classification and their depth and thickness determination are considered. The performance of neural networks and traditional methods of thermogram processing are compared. Advantages of neural networks over traditional algorithms are shown. It is shown that in known literature the tasks of simultaneous defects classification by type and determination of their depth and thickness are not solved; the methods of determining defects depth or their thickness by solving the regression task using neural networks or traditional methods have

not been investigated; the task of constructing thermal tomograms of object of testing internal structure is not solved. Research aim in the form of development of a neural network automated system of thermal fields complex analysis, which will have higher efficiency in comparison with systems based on traditional methods of thermogram processing is formed in this thesis. In order to improve the methods of thermal defectoscopy and defectometry and automate data processing, a subsystem of digital thermogram processing consisting of three neural network modules has been substantiated and developed in the thesis. Possibility of using feedforward backpropagation multilayer neural networks with fully-connected layers in defects detection and classification module and modules of determining defects depth and thickness is described. Algorithms of formation of training datasets for tasks of defects classification and determination of their depth and thickness are formed. The procedure of neural network modules training is described and the corresponding software is developed in MATLAB. Software implementation of virtual devices, which embodies algorithms of neural network modules and results post-processing is implemented in NI LabVIEW software. A graphical user interface for an automated thermal field analysis system has been created. That includes controls, defectometry tools and blocks for graphically displaying information about defects location and the internal structure of object of testing. The computer simulation of the process of active thermal testing of a multilayer carbon fiber specimen with artificial internal defects is carried out. According to results of efficiency evaluation of obtained thermogram sequences processing by different methods, it is established that the developed neural network system provides the highest indicators of quality of defect classification and defectometry accuracy among considered methods. The influence of neural network architecture on performance of neural network modules of developed system in case of computer simulation data is investigated. Experimental researches have shown that developed system allows to carry out error-free detection and classification of defects by type. Estimation of defects depth and thickness using developed system was conducted with the maximum error of  $\pm 3.19\%$  and  $3.50\%$  respectively. It is proved that developed system has higher reliability of testing and accuracy of defectometry in comparison with traditional algorithms even in conditions of uneven heating. Based on the results of research, recommendations on methodology of testing using developed automated system are formulated.

**Державний реєстраційний номер ДіР:**

**Пріоритетний напрям розвитку науки і техніки:**

**Стратегічний пріоритетний напрям інноваційної діяльності:**

**Підсумки дослідження:**

**Публікації:**

**Наукова (науково-технічна) продукція:**

**Соціально-економічна спрямованість:**

**Охоронні документи на ОПВ:**

**Впровадження результатів дисертації:**

**Зв'язок з науковими темами:**

## **VI. Відомості про наукового керівника/керівників (консультанта)**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Галаган Роман Михайлович
2. Galagan Roman M.

**Кваліфікація:** к. т. н., 05.11.13

**Ідентифікатор ORCID ID:** Не застосовується

**Додаткова інформація:**

**Повне найменування юридичної особи:**

**Код за ЄДРПОУ:**

**Місцезнаходження:**

**Форма власності:**

**Сфера управління:**

**Ідентифікатор ROR:** Не застосовується

## **VII. Відомості про офіційних опонентів та рецензентів**

### **Офіційні опоненти**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Сучков Григорій Михайлович
2. Suchkov Grygorii M.

**Кваліфікація:** д. т. н., 05.11.13

**Ідентифікатор ORCID ID:** Не застосовується

**Додаткова інформація:**

**Повне найменування юридичної особи:**

**Код за ЄДРПОУ:**

**Місцезнаходження:**

**Форма власності:**

**Сфера управління:**

**Ідентифікатор ROR:** Не застосовується

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Ковтун Світлана Іванівна
2. Kovtun Svitlana I.

**Кваліфікація:** д. т. н., 05.11.04

**Ідентифікатор ORCID ID:** Не застосовується

**Додаткова інформація:**

**Повне найменування юридичної особи:**

**Код за ЄДРПОУ:**

**Місцезнаходження:**

**Форма власності:**

**Сфера управління:**

**Ідентифікатор ROR:** Не застосовується

### **Рецензенти**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Єременко Володимир Станіславович

2. Yeremenko Volodymyr S.

**Кваліфікація:** д. т. н., 05.13.05

**Ідентифікатор ORCID ID:** Не застосовується

**Додаткова інформація:**

**Повне найменування юридичної особи:**

**Код за ЄДРПОУ:**

**Місцезнаходження:**

**Форма власності:**

**Сфера управління:**

**Ідентифікатор ROR:** Не застосовується

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Степанець Олександр Васильович

2. Stepanets Oleksandr V.

**Кваліфікація:** к. т. н., 05.13.07

**Ідентифікатор ORCID ID:** Не застосовується

**Додаткова інформація:**

**Повне найменування юридичної особи:**

**Код за ЄДРПОУ:**

**Місцезнаходження:**

**Форма власності:**

**Сфера управління:**

**Ідентифікатор ROR:** Не застосовується

## **VIII. Заключні відомості**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові**

**голови ради**

Тимчик Григорій Семенович

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові  
головуючого на засіданні**

Тимчик Григорій Семенович

**Відповідальний за підготовку  
облікових документів**

**Реєстратор**

**Керівник відділу УкрІНТЕІ, що є  
відповідальним за реєстрацію наукової  
діяльності**



Юрченко Т.А.