## НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ

**«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**ФАКУЛЬТЕТ АВІАЦІЙНИХ І КОСМІЧНИХ СИСТЕМ КАФЕДРА ІНФОРМАЦІЙНО – ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ**

|  |  |
| --- | --- |
| «На правах рукопису» УДК | «До захисту допущено» Завідувач кафедри  В.С. Єременко  «\_ »\_ 2018 р. |

**Магістерська дисертація**

## на здобуття ступеня магістра

**зі спеціальності 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка» на тему: «Система неруйнівного контролю композиційних матеріалів»**

Виконала:

студентка VI курсу, групи ВВ-61м Катран Лілія Вячеславівна

Керівник:

професор, д.т.н., професор Єременко В.С.

Рецензент:

професор, д.т.н., професор Володарський Є. Т.

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студентка

Київ – 2018 року

## Реферат

Магістерська дисертація «Система неруйнівного контролю композиційних матеріалів» має обсяг 100 сторінок тексту, з них 31 ілюстрація, 7 таблиць, 2 додатки та 34 джерела за переліком посилань.

*Ключові слова*: НЕРУЙНІВНИЙ КОНТРОЛЬ, НИЗЬКОШВИДКІСНИЙ УДАР, ОРТОГОНАЛЬНІ ФУНКЦІЇ ХАРТЛІ, ОРТОГОНАЛЬНІ ФУНКЦІЇ УОЛША- АДАМАРА, ІМПУЛЬС УДАРНОЇ ВЗАЄМОДІЇ, КОЕФІЦІЄНТ РОЗКЛАДУ, СТАТИСТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ, БЕЗДЕФЕКТНА ЗОНА, ЗОНА З РУЙНУЮЧИМ УДАРОМ.

*Об’єкт дослідження* – процес неруйнівного контролю композиційних матеріалів.

*Предмет дослідження* – метод обробки сигналів та система контролю композиційних матеріалів.

*Мета роботи* – розробка системи неруйнівного котролю композиційних матеріалів. Розробка методики та алгоритму прийняття діагностичних рішень про наявність дефекту в композиційному матеріалі.

*Методи дослідження*. В роботі знайшли застосування експериментальне дослідження зразків композиційних матеріалів і проведення модельного експерименту.

*Рекомендації щодо використання результатів роботи*. Отримані результати магістерської атестаційної роботи можуть бути використані в учбовому процесі та проведенні контролю композиційних матеріалів в промисловому виробництві.

*Важливість роботи і висновки.* Магістерська дисертація «Система неруйнівного контролю композиційних матеріалів» має важливе значення для розвитку неруйнівного контролю виробів з композитів.

За результатами роботи нами зроблені такі висновки:

* проведено експериментальне дослідження можливості проведення контролю композиційних матеріалів методом низькошвидкісного удару з випадковою енергією ударного впливу;
* проаналізовано використання, в якості інформативних ознак, коефіцієнтів розкладу сигналів за базисами Хартлі;
* розроблено алгоритм прийняття діагностичного рішення метричним методом;
* обґрунтовано та досліджено коректність роботи розробленого алгоритму експериментальним шляхом через контроль достовірності.

*Пропозиції* про можливі напрямки розвитку чи продовження виконаних досліджень полягають в наступному:

* дослідження використання інших критеріїв для прийняття діагностичних рішень;
* розробка автоматизованого програмного забезпечення з повною реалізацією розробленого алгоритму.

*Тези* за темою магістерської дисертації було опубліковано в збірниках конференцій:

* Міжнародна наукова інтернет-конференція «ІНФОРМАЦІЙНЕ СУСПІЛЬСТВО: ТЕХНОЛОГІЧНІ, ЕКОНОМІЧНІ ТА ТЕХНІЧНІ АСПЕКТИ

СТАНОВЛЕННЯ» ; Тема: Моделювання алгоритму обробки сигналів при неруйнівному контролі композитних матеріалів;

* Міжнародна науково-практична конференція молодих учених і студентів

«Політ. Сучасні проблеми науки»; Тема: Сучасні тенденції розвитку алгоритмів обробки сигналів при неруйнівному контролі композиційних матеріалів.

## Abstract

Master thesis “System of non-destructive control of composite materials” has 100 pages, 31 pictures, 7 tables, 2 appendices and 35 sources of information.

*Key words:* NON-DEMAGE CONTROL, LOW-VELOCITY IMPEDANSE, ORTHOGONAL FUNCTION HARTLI, RTHOGONAL FUNCTIONAL WALTH- HAMMER, IMPULSE OF HARMFUL INTERACTION, DECOMPOSITION COEFFICIENT, TATISTICAL CHARACTERISTICS, NON-EFFECT ZONE, ZONE WITH HARMFUL IMPACT.

The *object* of research is the process of non-destructive control of composite materials.

*Subject* of research - the method of signal processing and the control system of composite materials.

*Aim* of the master thesis is to create a system of non-destructive control of composite materials. To develop methodology and algorithm of diagnostic decision making about the presence of a defect in composite material.

*Research methods*. In the paper, an experimental study of samples of composite materials and a model experiment was used.

*Recommendations for using work results*. The obtained results of master's attestation work can be used in the educational process and control of composite materials in industrial production.

*Importance of work and conclusions.* The master thesis "The system of non- destructive control of composite materials" is important for the development of non- destructive control of composite products.

By the results of the work we made the following conclusions:

* the experimental study of the possibility of controlling composite materials by the method of low-speed impact with random energy of impact influence was conducted;
* the usage, as informative signs, of coefficients of the decomposition of signals based on Hartley bases is analyzed;
* an algorithm for adopting a diagnostic solution by a metric method is developed;
* the correctness of the work of the developed algorithm is experimentally grounded and investigated by checking the reliability.

*Proposals* for possible directions for development or continuation of the research carried out are as follows*:*

* study of the use of other criteria for the adoption of diagnostic solutions;
* development of automated software with full implementation of the developed algorithm.

*Abstracts* on the theme of the master thesis were published in the collections of conferences*:*

* International scientific Internet conference "INFORMATION SOCIETY: TECHNOLOGICAL, ECONOMIC AND TECHNICAL ASPECTS OF

DEVELOPMENT"; Subject: Simulation of algorithm of signal processing at non- destructive control of composite materials;

* International scientific and practical conference of young scientists and students "Flight. Modern Problems of Science »; Subject: Modern tendencies of development of algorithms of signal processing at non-destructive control of composite materials.

## Реферат

Магистерская диссертация «Система неразрушающего контроля композиционных материалов» имеет объем 100 страниц текста, из них 31 иллюстрация, 7 таблиц, 4 приложения и 34 источника информации по списку ссылок.

Ключевые слова: НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ, НИЗКОСКОРОСТНОЙ УДАР, ОРТОГОНАЛЬНЫЕ ФУНКЦИИ ХАРТЛИ, ОРТОГОНАЛЬНЫЕ ФУНКЦИИ УОЛША-АДАМАРА, ИМПУЛЬС УДАРНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ, КОЭФФИЦИЕНТ РАЗЛОЖЕНИЯ, СТАТИСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ, БЕЗДЕФЕКТНАЯ ЗОНА, ЗОНА С РАЗРУШАЮЩИМ УДАРОМ.

*Объект исследования* - процесс неразрушающего контроля композиционных материалов.

*Предмет исследования* - метод обработки сигналов и система контроля композиционных материалов.

*Цель работы* - разработка системы неразрушающего контроля композиционных материалов. Разработка методики и алгоритма принятия диагностических решений о наличии дефекта в композиционном материале.

*Методы исследования*. В работе нашли применение экспериментальное исследование образцов композиционных материалов и проведения модельного эксперимента.

*Рекомендации по использованию результатов работы*. Полученные результаты магистерской аттестационной работы могут быть использованы в учебном процессе и проведении контроля композиционных материалов в промышленном производстве.

*Важность работы и выводы*. Магистерская диссертация «Система неразрушающего контроля композиционных материалов» имеет важное значение для развития неразрушающего контроля изделий из композитов.

По результатам работы нами сделаны следующие выводы:

* проведено экспериментальное исследование возможности проведения контроля композиционных материалов методом низкоскоростного удара случайной энергией ударного воздействия;
* проанализировано использование, в качестве информативных признаков, коэффициентов разложения сигналов по базису Хартли;
* разработан алгоритм принятия диагностического решения метрическим методом;
* обоснованы и исследованы корректность работы разработанного алгоритма экспериментальным путем через контроль достоверности.

*Предложения* о возможных направлениях развития или продолжение выполненных исследований заключаются в следующем:

* исследование возможности использования других критериев для принятия диагностических решений;
* разработка автоматизированного программного обеспечения с полной реализацией разработанного алгоритма.

*Тезисы* по теме магистерской диссертации было опубликовано в сборниках конференций:

* Международная научная интернет-конференция «ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЩЕСТВО: технологические, экономические и технические аспекты развития»; Тема: Моделирование алгоритма обработки сигналов при неразрушающем контроле композиционных материалов;
* Международная научно-практическая конференция молодых ученых и студентов «Полет. Современные проблемы науки»; Тема: Современные тенденции развития алгоритмов обработки сигналов при неразрушающем контроле композиционных материалов.

## ЗМІСТ

|  |  |
| --- | --- |
| **Вступ**................................................................................................................................  **Розділ 1. Огляд та класифікація існуючих композиційних матеріалів, їх найпоширеніших дефектів а також методів виявлення дефектів**......................   * 1. Класифікація та властивості композиційних матеріалів.................................   2. Класифікація та причини виникнення типових дефектів композиційних матеріалів....................................................................................................................   3. Огляд методів дефектоскопії, що використовуються для виявлення дефектів у композиційних матеріалах……..............................................................   4. Огляд існуючих аналогічних рішень…………………………………………..   5. Досліджувані інформаційні сигнали…………………………………………...   6. Постановка завдання дослідження…………………………………………….. **1**.7 Висновки…………………………………………………………………………. **Розділ 2. Розробка методики обробки вимірювальної інформації**......................   2.1. Класифікація імпульсів на основі розкладу імпульсів за ортогональними базисами функцій дискретного аргументу............................................................... 2.2. Ортогональні функції Хартлі..............................................................................   * 1. Швидке перетворення Хартлі на статичних інтервалах часу…...…………...   2. Розклад сигналу за ортогональними функціями Хартлі………………….…. 2.5 Висновки…………………………………………………………………………   **Розділ 3. Розробка системи неруйнівного контролю композиційних матеріалів**  3.1. Розробка системи композиційних матеріалів................................................... 3.2. Розробка компонентів системи..........................................................................  3.3. Алгоритм роботи системи..................................................................................  3.4. Модель імпульсів ударної взаємодії……......................................................…   * 1. Моделювання вимірювального експерименту………………………………..   2. Результати експериментального дослідження……..………………………... | 3  5  5  11  16  28  31  35  36  38  38  43  48  52  53  54  54  56  66  68  70  73 |

|  |  |
| --- | --- |
| 3.7 Висновки………………………………………………………………………….  **Розділ 4. Стартап-проект…………………………………………………………… Висновки**.........................................................................................................................  **Список використаних джерел**.....................................................................................  Додаток А Додаток Б Додаток В  Додаток Г | 82  83  91 |

**ВСТУП**

Сучасна авіаційна промисловість широко використовує композиційні матеріали, що по своїм основним параметрам, таким як питома міцність, надійність, жаро- та ерозійна стійкість, значно перевершують метали та сплави з них. До надійності виробів з композиційних матеріалів висуваються дуже високі вимоги, тому що від їх технічного стану може залежати не тільки працездатність коштовної техніки, але і життя людей. Композиційні матеріали формуються одночасно з виробом, тому властивості цих матеріалів неможливо проконтролювати поза виробом. Процеси формування виробів з композитів надзвичайно складні і не завжди піддаються надійному регулюванню, у результаті чого часто спостерігаються істотні зміни властивостей композитів та пов’язана з цим мінливість показників надійності. Не менш важливим є підвищення надійності оцінки технічного стану виробів не тільки на момент виготовлення, але й у різні моменти часу в процесі експлуатації і збереження. Необхідно врахувати, що особливості властивостей і фізичних характеристик композиційних матеріалів роблять неможливим використання багатьох класичних методів неруйнівного контролю.

У зв’язку з необхідністю вирішень цих проблем виникла потреба в створенні нових, більш ефективних методів діагностування і розробки відповідних приладів та інформаційно-вимірювальних систем.

Вірогідність діагностики визначається не тільки застосовуваними фізичними методами одержання інформації про технічний стан виробу, але і математичними моделями, покладеними в основу методів діагностики, методиками обробки одержаної інформації з метою формування просторів параметрів і прийняття діагностичних рішень. Аналіз існуючих фізичних методів діагностики показав, що жоден з них не дозволяє виявити весь спектр можливих дефектів композиційних матеріалів. У зв’язку з цим

актуальною є розробка комплексного методу діагностики, що включає кілька взаємодоповнюючих методів і дозволяє виявити найбільшу кількість неприпустимих дефектів.

Сучасні прилади і системи діагностики композиційних матеріалів використовують, в основному, детерміновані моделі і відповідні їм методи обробки інформативних сигналів і прийняття діагностичних рішень, що не забезпечують необхідну завадозахищеність, точність вимірювань і вірогідність діагностики.

Таким чином, задачі розробки нових математичних моделей методів діагностики і створення інформаційно-вимірювальних систем статистичної діагностики виробів з композиційних матеріалів, в яких ці методи реалізуються, у даний час є актуальними.

В таблиці 1 приведено порівняння основних відомих результатів, що покладено в основу побудови інформаційно-вимірювальних систем діагностики виробів з композиційних матеріалів з результатами, отриманими в дослідженні.

Таблиця 1 - Порівняння відомих результатів по діагностиці виробів з композиційних матеріалів з отриманими в роботі

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | *Відомі інформаційно-*  *вимірювальні системи* | *Розроблена інформаційно-*  *вимірювальна система* |
| *Математичні моделі діагностичних*  *сигналів* | Детерміновані залежності | Лінійний випадковий процес |
| *Діагностичні параметри* | Амплітудно-часові характеристики, амплітудний і фазовий  спектри | Коефіцієнти розкладів по ортогональних функціях дискретного аргументу. |
| *Правила прийняття діагностичних*  *рішень* | Порівняння з граничним значенням. Імовірнісні  характеристики не враховуються | На основі відстані між дефектними та бездефектними класами |

## ВИСНОВКИ

* 1. Проаналізовано методи, на основі яких можна проводити діагнотику композиційних матеріалів.
  2. Обрано метод обробки інформаційних сигналів на основі перетворення Хартлі.
  3. Розроблено метод класифікації сигналів на основі відстані між дефектним та бездефектним класами.
  4. розроблено систему неруйнівного контролю композиційних матеріалів і виписані вимоги до компонентів системи.
  5. Проведено експериментальне дослідження достовірності роботи алгоритму прийняття діагностичного рішення.

## Список використаних джерел

1. Марченко Б.Г., Мыслович М.В. Вибродиагностика подшипниковых узлов электрических машин. – К.: Наукова думка, 1992. – 196 с.
2. Тетельбаум И.Н., Тетельбаум Я.И. Модели прямой аналогии. – М.: Наука, 1979. – 384 с.
3. Леман Э. Проверка статистических гипотез. – М.:Статистика, 1968. – 382 с.
4. Мюлер П., Нойман П., Шторм Р. Таблицы по математической статистике. – М.: Финансы и статистика, 1982. – 278 с.
5. Марченко В.Б. Ортогональные функции дискретного аргумента и их приложение в геофизике. – К.: Наукова думка, 1992. – 210 с.
6. Трахтман А.М. Введение в обобщенную спектральную теорию сигналов. – М.: Сов.радио, 1972. – 352 с.
7. Джексон Д.Д. Ряды Фурье и ортогональные полиномы. М.: Иностранная литература, 1948. – 260с.
8. Adams R.D., Cawley P. The mechanics of the coin-tap method of non- destructive testing // Journal of sound and vibration.  1988, - № 122 (2)  p. 299  316.
9. Маєвський С.М., Бабак В.П., Щербак Л.М. Основи побудови систем аналізу сигналів у неруйнівному контролі.  К.: Либідь, 1993.  200 с.
10. В.П. Бабак, В.С. Єременко, В.М. Мокійчук Метод класифікації ударних імпульсів при діагностиці композиційних матеріалів. Вісник НАУ, 2002, №4, с 1-4.

11.В.С. Єременко, Б.Г. Марченко В.М. Мокійчук Використання ймовірністних моделей при діагностиці композитів методом низькошвидкісного удару. Вісник НАУ, 2003, №3-4, с 5-8.

12. В.С..Еременко, В.М..Мокийчук Исследование диагностических признаков в статистической диагностике изделий методом

низкоскоростного удара. Технология и конструирование в электронной аппаратуре. 2004, №5, с. 58-60.

13.Крамер Г., Линдбеттер М. Стационарные случайные процессы. – М.: Мир, 1969. – 400 с.

1. Кини Р.Л., Райфа Х. Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения - М.: Радио и связь, 1981. - 560 с
2. Гоноровский И. С. Радиотехнические цепи и сигналы: Учебник для вузов.— 4-е изд., перераб. и доп. — М.: Радио и связь, 1986. — 512 с.
3. Теория автоматического управления: Учеб. для вузов по спец.

«Автоматика и телемеханика». В 2-х ч. Ч. II. Теория нелинейных и специальных систем автоматического управления. / А. А. Воронов, Д. П. Ким, В. М. Лохин и др.; Под ред. А. А. Воронова.— 2-е изд., перераб. и доп.

— М.: Высш. шк., 1986.— 504 с.

1. Тропченко А Ю., Тропченко А.А. Цифровая обработка сигналов. Методы предварительной обработки. Учебное пособие по дисциплине "Теоретическая информатика". – СПб: СПбГУ ИТМО, 2009. – 100 с.
2. S. G. Chang, B. Yu, M. Vetterli: IEEE Trans. Image Processing, (2000) 9 p. 1532
3. Введение в статистическую теорию распознавания образов. Фукунага К.: Пер. с англ.—М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1979, - 368 с.
4. Сайко В.Г., Оксіюк О.Г., Дікарєв О.В. Основи цифрового оброблення сигналів в системах цифрового радіозв’язку. Частина 1. Навчальний посібник. – К.: ДУТ, 2016.– 107 с.
5. Adams R.D., Cawley P. Low-velocity impact inspection of bonded structures // Proceedings of the international conference on structural adhesives in engineering. Bristol, 1986, - P. 139-142.
6. Астафьева Н.М. Вейвлет-анализ: Основы теории и примеры применения. – Успехи физических наук, 1996, т.166, № 11, стр. 1145-1170.
7. Дьяконов В., Абраменкова И. MATLAB. Обработка сигналов и изображений. Специальный справочник. – СПб.: Питер, 2002, 608 с.

24.Лемешко Б.Ю., Помадин С.С. Проверка гипотез о математических ожида­ниях и дисперсиях в задачах метрологии и контроля качества при вероят­ностных законах, отличающихся от нормального // Метрология. 2004.

– № 3.- С.3-15.

1. Lehmann E.L. Consistency and unbiasedness of certain nonparametric tests / Ann. Math. Statist. – 1951. V.22. № 1. – P.165-179.
2. Скучик Е. Простые и сложные колебательные системы – М.: Мир, 1971. – 316 с.
3. Залманзон Л.А. Преобразования Фурье, Уолша, Хаара и их применение в управлении, связи и других областях. - М.: Наука, 1989. - 496с.

28.Брейсуэл Р. Пребразование Хартли: Пер. с англ. - М.: Мир, 1990. - 175с. 29.Трахтман А.М. Введение в обобщенную спектральную теорию

сигналов. - М.: Сов. радио, 1972. - 345с.

30.Трахтман А.М., Трахтман В.А. Основы теории дискретных сигналов на конечных интервалах. - М.: Сов. радио, 1975. - 208с.

31.Власенко В.А., Лаппа Ю.М., Ярославский Л.П. Методы синтеза быстрых алгоритмов свертки и спектрального анализа сигналов. - М.: Наука, 1990. - 180с.

1. Малов В. В. Пьезорезонансные датчики. М.: Энергоатомиздат, 1989.
2. Логинов В.Н. Электрические измерения механических величин. - М.: Энергия, 1976.- 104 с.

34.Ланге Ю.В. Устинов Е.Г. Акустические импульсы ударного возбуждения, их аналитическое представление и спектры // Дефектоскопия. - 1982.- № 10. - С.81-87.