

УДК 004.032.26

А.В. Наконечна, студентка гр. ПК-71
КПІ ім. Ігоря Сікорського

АВТОМАТИЗОВАНИЙ АНАЛІЗ ТЕРАГЕРЦОВИХ 3D-ЗОБРАЖЕНЬ ВНУТРІШНЬОЇ СТРУКТУРИ ВИРОБІВ АЕРОКОСМІЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Анотація. Розглянуто основні методи неруйнівного контролю виробів із композиційних матеріалів аерокосмічного призначення. З метою підвищення ефективності контролю пропонується використання терагерцового випромінювання. Зокрема, для вдосконалення процесу контролю пропонується візуалізація даних, отриманих із використанням терагерцового випромінювання шляхом побудови 3D-зображень внутрішньої структури об'єктів та їх подальшого автоматизованого аналізу за допомогою методів машинного навчання.

Ключові слова: терагерцове випромінювання, композитні матеріали, 3D-зображення, глибинне навчання.

ВСТУП

Композитні матеріали широко використовуються в авіаційній і космічній техніці в деталях, що піддаються змінним навантаженням. В ході експлуатації конструкцій з композиційних матеріалів неминуче виникають різні дефекти. Від своєчасного виявлення дефектів залежить працездатність та надійність всього виробу, що в аерокосмічній галузі є критичним. Вихід із ладу космічного апарату може призвести до аварій, значних матеріальних збитків, а часом і становити загрозу людському здоров'ю та навіть життю. Тому актуальним є пошук методів підвищення ефективності та достовірності контролю виробів аерокосмічного призначення. Зокрема, найбільш повну інформацію щодо технічного стану об'єкту контролю можна отримати на основі 3D-зображення його внутрішньої структури.

ОГЛЯД ПОПЕРЕДНІХ РОБІТ

Серед методів неруйнівного контролю, які дозволяють побудувати 3D-зображення внутрішньої структури об'єкту, можна виділити акустичні методи. Але такі методи мають ряд недоліків, такі як високі коефіцієнти загасання пружних коливань в ПКМ, різка відмінність акустичних властивостей матеріалів шарів багатошарових конструкцій, а також шорсткість і кривизна поверхонь деталей і конструкцій, що ускладнює їх використання. Тому для побудови тривимірних зображень виробів аерокосмічного призначення акустичні методи практично не застосовуються [1].

Іншим методом комп'ютерна томографія. У разі правильного вибору режимів і параметрів контролю можна досягти високої якості отриманих зображень як за чутливістю, так і за роздільною здатністю. Все ж комп'ютерна томографія має ряд недоліків: висока вартість технології, необхідність отримання 360 ... 720 знімків об'єкту контролю при його круговому обертанні на 360 °, жорсткі обмеження за габаритами та вимоги до безпеки.

Отже, існує обґрунтований запит на пошук нових методів неруйнівного контролю. Одним із перспективних напрямків вважається використання терагерцового (ТГц) випромінювання. В роботі [2] зазначається, що ТГц дефектоскопи, окрім огляду деталей орбітального апарату на предмет прихованих дефектів, дозволяють точно визначити розташування компонентів під елементами обшивки. ТГц випромінювання, на відміну від рентгенівського,

є неіонізуючим, тому процес сканування досліджуваних зразків є безпечним. Останнім часом, з'явилася можливість візуалізації ТГц випромінювання, що дозволяє вдосконалити процеси діагностики та виявлення дефектів.

Процедура терагерцової томографічної візуалізації може бути використана для отримання тривимірних зображень в терагерцовому діапазоні частот, за аналогією до зображень в оптичному, інфрачервоному або рентгенівському діапазонах електромагнітного спектру. В роботі [3] стверджується, що актуальність використання ТГц випромінювання з метою формування зображення обумовлена наступними перевагами: довжина хвилі ТГц випромінювання (в межах 3000-30 мкм) дозволяє спостерігати дифракцію навіть на великих об'єктах; отримання зображення з субміліметровою роздільною здатністю; при прямому детектуванні ТГц випромінювання в часовій області, можливе також отримання комплексних спектрів, що дозволяє реєструвати інформацію про амплітуду і фазу поглинутої або відбитої від зразка хвилі та аналізувати нові інформативні параметри.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

У разі використання ТГц випромінювання, для отримання просторової інформації в основному використовується піксельне сканування. Під час сканування у кожній точці в площині об'єкта відбувається реєстрація імпульсних сигналів ТГц випромінювання, які пройшли крізь об'єкт контролю або відбилися від нього. Отримання тривимірного зображення структури об'єкта можливе в результаті подальшої комп'ютерної обробки. В класичній ТГц спектроскопії повне тривимірне зображення об'єкта отримується в результаті сканування об'єкта сфокусованим пучком терагерцових хвиль, що накладає обмеження на роздільну здатність. Також зазвичай досліджують тільки амплітудну інформацію про ТГц поле, нехтуючи інформацією про фазу, що часто виявляється недостатнім для точного відновлення зображення об'єкта. У майбутньому можливі удосконалення, пов'язані з використанням напівпровідникових або оптичних лазерних джерел та детекторів [4].

Для автоматизації аналізу тривимірних зображень, отриманих із використанням терагерцового випромінювання, можна використовувати методи машинного навчання [5]. Найбільш ефективним в даній області є застосування глибинних нейронних мереж. Особливістю таких систем є навчання в процесі вирішення великого числа варіантів задач, а не пряме алгоритмічне вирішення конкретної задачі. На сьогодні, в області аналізу зображень найбільш ефективним є використання згорткових нейронних мереж.

Згорткова нейронна мережа (ЗНМ) має спеціальну архітектуру, яка дозволяє їй максимально ефективно розпізнавати образи. Основною перевагою є те, що ступінь попередньої обробки даних для ЗНМ є значно нижчим порівняно з іншими алгоритмами класифікації. Навчання таких мереж відбувається на основі попередньо підготовленої бази зображень [6].

Внаслідок автоматичного розпізнавання і класифікації дефектів та визначення їх параметрів під час аналізу терагерцових зображень за допомогою методів машинного навчання підвищується ефективність та достовірність

контролю. Це досягається завдяки зменшенню часу обробки та аналізу даних, усунення суб'єктивної складової помилки, здатності ЗНМ автоматично виявляти найбільш значущі діагностичні ознаки.

ВИСНОВКИ

Вимоги до надійності деталей, які експлуатуються в умовах багаторазових космічних польотів, передбачають достовірний контроль якості матеріалів. В даній роботі проаналізовано методи та шляхи підвищення ефективності контролю деталей аерокосмічних апаратів. Перспективним напрямом є використання терагерцового випромінювання для побудови 3Д-зображень виробів, виготовлених з композиційних матеріалів. Процес отримання терагерцових зображень є менш високовартісним, більш безпечним і технологічно простішим, ніж використання інших методів.

Аналіз тривимірних терагерцових зображень внутрішньої структури об'єктів можна автоматизувати із використанням глибинного навчання. Такий підхід дозволить зменшити роль оператора в процесі прийняття діагностичних рішень, зменшити часові затрати на проведення контролю та підвищити його загальну ефективність. Найбільш актуальним завданням для подальших досліджень є створення методів формування бази навчальних зразків для нейронних мереж, а також вибір оптимальних за показником достовірності роботи мережі параметрів навчання та архітектури.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Nagem R.J. Residual life predictions of composite aircraft structures via nondestructive testing. Part 1: Prediction methodology and via nondestructive / R.J. Nagem, J.M. Seng, J.H. Williams // *Materials Evaluation*. - 2000. - №9. - pp. 1065-1074
- [2] Ospald F. Aeronautics composite material inspection with a terahertz time-domain spectroscopy system. / F.Ospald, W.Zouaghi, R.Beigang // *SPIE*. – 2014. – p. 15.
- [3] Jepsen, P.U., D.G. Cooke, and M. Koch, Terahertz spectroscopy and imaging - Modern techniques and applications. *Laser & Photonics Reviews* / P.U. Jepsen, D.G. Cooke, M. Koch, - 2011. - pp. 124-166.
- [4] Oden, J. Imaging of broadband terahertz beams using an array of antenna-coupled microbolometers operating at room temperature / J. Oden // *Opt. Express*, - 2013. - pp. 4817-4825.
- [5] Галаган Р.М. Застосування нейромережевих технологій для вирішення обернених задач неруйнівного контролю / Р. М. Галаган, А. С. Момот // XVI Міжнародна науково-технічна конференція «Приладобудування: стан і перспективи», 16-17 травня 2017 р., м. Київ, Україна : збірник тез доповідей. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. – С. 144.
- [6] Momot A. Influence of architecture and training dataset parameters on the neural networks efficiency in thermal nondestructive testing / A. Momot, R. Galagan. // *Sciences of Europe*. – 2019. – №44. – pp. 20–25.

Наук. керівник – ас. Момот А.С.