

УДК 004.942

*І.Є.Бодак, студент гр. ВВ-71мп*  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## **СИСТЕМА ОЦІНЮВАННЯ СТУПЕННЯ ПОШКОДЖУВАННОСТІ ВИРОБІВ ІЗ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ**

**Анотація.** Спроековано програмний виріб ступеня пошкоджуваності виробів із композиційних матеріалів, який призначений для обробки експериментальних даних, що отримані для композиційних матеріалів в точках з різною пошкоджуваністю і використовується в закладах, де необхідні метрологічні спостереження, навчальних лабораторіях, системах промислових вимірювальних приладів і засобів автоматизації.

**Ключові слова:** гістограма, критерій Пірсона, регресія, метод найменших квадратів, апроксимація.

### **ВСТУП**

Сучасна авіаційна промисловість широко використовує композиційні матеріали, які за основними параметрами, такими як питома міцність, надійність, жаро- і ерозійна стійкість, значно перевершують метали і сплави з них. Але вироби з композиційних матеріалів характеризуються великим різноманіттям можливих дефектів, що важко піддаються діагностиці, особливо на ранішніх стадіях їх розвитку. Сучасні темпи розвитку авіації, високий рівень динамічних і статичних навантажень на вироби в режимі експлуатації, викликають необхідність створення високоточних систем контролю та технічної діагностики, заснованих на новітніх методах обробки інформації. Підвищення надійності експлуатації авіаційних конструкцій є найважливішою задачею, оскільки від цього залежить безпека і життя людей, строки роботи цих конструкцій, а також економічна ефективність їх експлуатації. Саме тому необхідними є своєчасна діагностика і контроль виробів з композиційних матеріалів, виявлення дефектів на ранішніх стадіях розвитку та їх усунення, ремонт конструкцій. Тому на даний час висувуються все більш суттєві вимоги до існуючих та нових методів та приладів неруйнівного контролю композитів [1].

### **ВИКЛАДЕННЯ ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ**

Для дослідження було взято інформативні сигнали методу низькошвидкісного удару, отримані при дослідженні зразків композитних панелей із стільниковим заповнювачем типу ІСП-1 і обшивкою на основі склотканини Т42/1-76. Даний зразок був вибраний тому, що нанесені на нього дефекти є точковими, нормованими, і тому при його дослідженні можна прослідкувати залежність між силою пошкодження поверхні виробу і зміною інформативних параметрів вимірюваних сигналів.

За допомогою інформаційно-вимірювальної системи, що реалізує метод низькошвидкісного удару, були отримані осцилограми інформаційних сигналів в бездефектній зоні і зонах з різними ударними пошкодженнями.

Програмний засіб виконує функції обробки даних, перевірку на нормальність, нормалізацію даних при необхідності, побудову регресії різними методами, в залежності від нормальності даних. Працює він за алгоритмом, що показаний на рисунку 1.

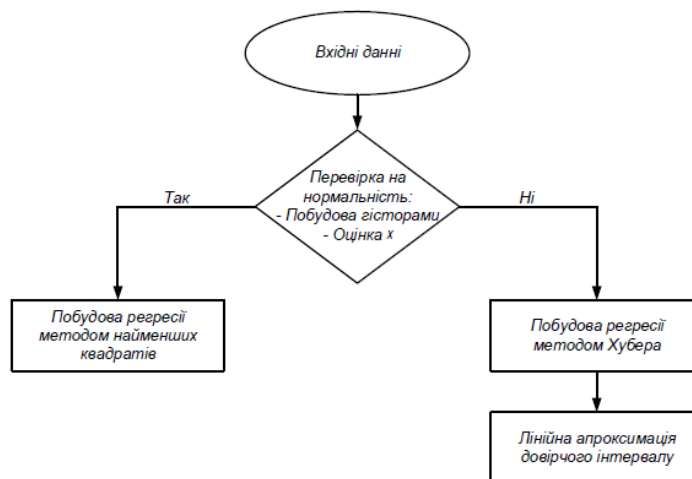


Рисунок 1. Алгоритм роботи програмного засобу

Всі вибірки, що подаються на вхід перевіряються на нормальність, для цього будуються гістограми і оцінка критерієм Пірсона. У випадку нормальності даних, регресія будується методом найменших квадратів (далі МНК) [2]. У випадку ненормальності даних, за допомогою метода Хубера будуємо регресію і проводимо лінійну апроксимацію довірчого інтервалу.

МНК – це метод знаходження наближеного розв’язку надлишково-визначеної системи. Важливим кроком є визначення довірчих інтервалів. Для цього оцінюється середньоквадратичне відхилення (далі СКВ) випадкової похибки середнього значення  $\bar{y}$  та індивідуального значення  $y$ , визначених за отриманою залежністю як функція від аргументу  $x$ :

$$s_y^-(x) = u_y^-(x) = s_y \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{(x - \bar{x})^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}}. \quad (1)$$

$$s_y(x) = u_y(x) = s_y \sqrt{1 + \frac{1}{n} + \frac{(x - \bar{x})^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}} \quad (2)$$

СКВ випадкової похибки середнього  $\bar{y}$  досягає максимального значення на краях лінії регресії:

$$s_{y\max}^- \approx \sqrt{1 + 3w^2} \frac{s_y}{\sqrt{m}} \quad (3)$$

де  $w$  - кількість напіврозмахів,  $V = |x_{\max} - \bar{x}| = |x_{\min} - \bar{x}|$  у відхиленні аргументу  $x$  від середнього значення;  $x_{\max}$ ,  $x_{\min}$  - максимальне та мінімальне значення аргументу. За отриманими значеннями  $s$  оцінюють довірчий інтервал випадкової похибки середнього та індивідуального значення  $y$ :

$$\Delta_y^-(x) = U_y^-(x) = t_{\alpha/2}(v) \cdot s_y^-(x), \Delta_y(x) = U_y(x) = t_{\alpha/2}(v) \cdot s_y(x) \quad (4)$$

де  $t_{\alpha/2}(v)$  - квантиль розподілу Стюдента, для довірчої імовірності  $P = 1 - \alpha$  та  $v = n - 2$ .

Отже, як видно з формул (1)-(4) довірчі області, які із заданою ймовірністю  $P$  містять середні або індивідуальні значення  $y$  залежать від відстані значення  $x$  (за яким визначають  $y$ ) від середнього  $\bar{x}$  [3].

Якщо значення вхідних величин  $x_i$  точно відомі, а випадкова похибка вимірювань  $y_i$ ,  $i = \overline{1, m}$  має розподіл близький до гауссівського, але відмінний від строго гауссівського або можуть містити грубі похибки, то для побудови лінійної регресії вигляду  $Y = kX + b$  використовуються стійкі методи, зокрема метод Хубера [3]. При використанні методу необхідно отримати початкові наближення коефіцієнтів регресії  $b_0$  і  $k_0$ , в якості яких було застосовано МНК-оцінки.

В зв'язку з тим, що данні не нормальні, маємо справу з медіаною по 500 значень.

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

На вході ми маємо 5 вибірок, по 500 експериментальних вимірювань в кожній, що отримані для композиційних матеріалів в точках з різною пошкоджуваністю. Програмний компонент системи реалізовано в середовищі розробки LabVIEW 8.5.1, компанії National Instruments, а реалізацію регресії методом Хубера та лінійну апроксимацію довірчого інтервалу будували в Python 3.6.

Інтерфейс бездефектної вибірки та дефектної (їх у дослідженні 4) показано на рисунку 2.

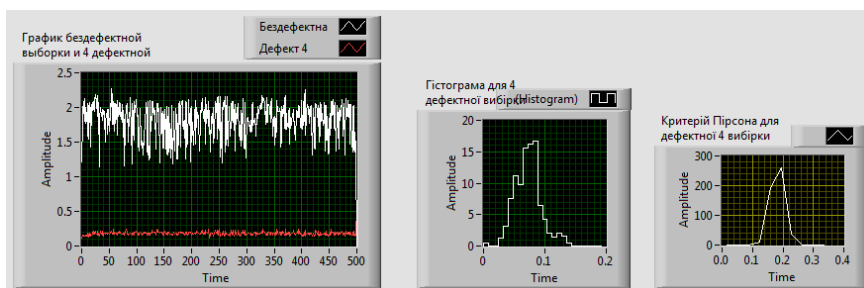


Рисунок 2. Інтерфейс бездефектної та дефектної вибірки (на прикладі четвертої дефектної)

Як бачимо, чим менший дефект, тим більше результат наближається до нормального.

Результат побудови регресії методом Хубера показано на рисунку 3.

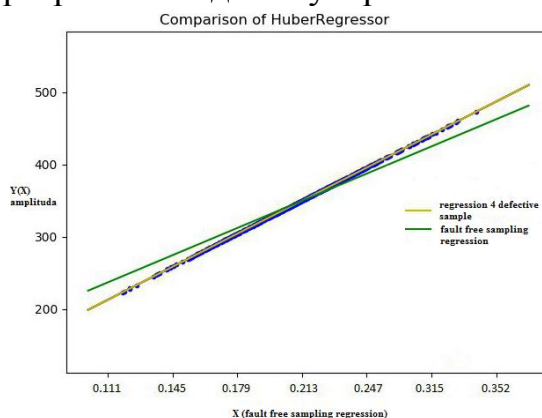


Рисунок 3. Результат побудови регресії методом Хубера

Результат лінійної апроксимації довірчого інтервалу показано на рисунку 4.

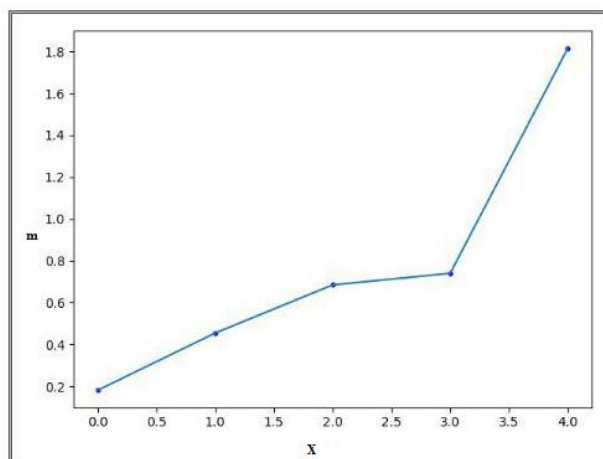


Рисунок 4. Результат лінійної апроксимації довірчого інтервалу

## ВИСНОВКИ

Спроековано програмний виріб для оцінювання ступеня пошкоджуваності виробів, який вирішує задачі статистичної обробки експериментальних даних, що отримані для композиційних матеріалів в точках з різною пошкоджуваністю, вибору методики перевірки на нормальність та вибору методу побудови регресійної залежності.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Редько О.О. Системи неруйнівного контролю композиційних матеріалів на основі методу низькошвидкісного удару / Редько О. О. //, Фізико-технологічні проблеми радіотехнічних пристроїв, засобів телекомунікації нано- та мікроелектроніки: матеріали доповіді 2 міжнародної науково-практичної конференції, 25-27 жовтня. Чернівці, 2012. с. 127.

2. Єременко В.С, Бем О.Т., Суслов Е.Ф. Идентификация импульсных сигналов на основе мультиномиальной логистической регрессии // Материалы 9-й Международной научно-технической конференции «ПРИБОРОСТРОЕНИЕ – 2016» 23–25 ноября 2016 г. Минск. Беларусь. С. 152 – 153.

3. В.С. Єременко Статистичний аналіз даних вимірювань / Ю.В. Куц, В.М. Мокійчук, О.В. Самойліченко. 2015. – с. 189-194.

*Наук. керівник – д.т.н., проф., зав. кафедри ІВТ Єременко В.С.*