

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ**

**КОЗАК ВАСИЛЬ ПЕТРОВИЧ  
ПОПАДЮК ОКСАНА ПЕТРІВНА**

УДК 608

**РОЗРОБЛЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО МЕТОДУ  
ОЦІНЮВАННЯ РУЙНУВАННЯ КОМПОЗИТНИХ МАТЕРІАЛІВ  
ЗА ДАНИМИ ФРАКТАЛЬНОГО АНАЛІЗУ**

Спеціальність 8.05020201 – Автоматизоване управління технологічними процесами

**АВТОРЕФЕРАТ**  
на здобуття освітньо-кваліфікаційного рівня «магістр»

Тернопіль – 2017

Робота виконана на кафедрі автоматизації технологічних процесів і виробництв факультету прикладних інформаційних технологій та електроінженерії Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя Міністерства освіти і науки України

**Науковий керівник:**

кандидат технічних наук, доцент  
Рогатинська Олена Романівна  
Тернопільський національний  
технічний університет імені Івана Пулюя

**Рецензент:**

кандидат технічних наук, доцент  
Курко Андрій Михайлович  
Тернопільський національний  
технічний університет імені Івана Пулюя

Захист відбудеться «20» лютого 2017 р. о 9.00 год. на засіданні державної екзаменаційної комісії у Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя

**Завідувач автоматизації технологічних процесів  
і виробництв  
д.т.н., проф.**

**Марущак П. О.**

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Питання дослідження матеріалів актуальне у будь-якій галузі їх застосування, адже на кону стоїть питання безпеки та надійності при їх експлуатації. Знання характеристик і можливість опису складових того чи іншого матеріалу дозволяє інженерам правильно спрогнозувати його поведінку в певному середовищі, спланувати терміни експлуатації та уникнути небажаних наслідків.

Поява перших конструкцій з анізотропних матеріалів, склопластиків на полімерній матриці, відбулося в 50-х р. ХХ ст. Починаючи з того часу розробляється математичний апарат, для опису механіки багатошарових композитних матеріалів при дії зовнішніх статичних, динамічних, температурних навантажень. Для композитів характерне пружно-лінійна деформація практично до руйнування. Механіка поведінки і руйнування композитних матеріалів детально висвітлена, наприклад, в роботах Гузя А. Н., Бакулін В. Н., Костіва В. І., Болотіна В. В., Дзако м. та ін.

Впровадження активного застосування композитних матеріалів у різних галузях сприяло і активному розвитку неруйнівних методів контролю якості внутрішньої структури виробів. Поставало питання вивчення внутрішньої структури деталей, агрегатів та вузлів. Так питання дефектоскопії розглядались в роботах В. П. Вавілова, І. Н. Єрмолова, В. В. Вороб'я. Найбільш повне висвітлення питання контролю якості виробів із композитних матеріалів, огляд та класифікація методів неруйнівного контролю та їх застосування розглянуто у роботах В. В. Сухорукова та Б. Н. Епіфанцева, В. В. Ключова та інших. Прогнозуванню надійності конструкцій, виготовлених з композитних матеріалів, присвячені роботи науковця А. І. Потапова.

**Метою** магістерської роботи є ти є розроблення такого автоматизованого методу оцінки руйнування матеріалу, який буде одночасно недороговартісним, ефективним та нескладним у використанні, тобто таким, що зможе принести користь навіть не надто досвідченим у цьому питанні спеціалістам.

Робота дає можливість обрати метод визначення фрактальної розмірності досліджуваного зразка виходячи з особливостей його форми, тобто елементарного візуального контролю.

**Предметом** дослідження є визначення залежності між фрактальною розмірністю та структурними змінами матеріалу через використання неруйнівного методу контролю.

**Основні завдання дослідження:** визначення автоматизованого методу неруйнівного контролю матеріалу, що дозволить попередити негативні наслідки подальшої експлуатації.

**Методи дослідження:** оптико-цифровий аналіз.

**Апробація результатів дослідження.** Основні положення досліджень магістерської роботи доповідались на «V Міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів» (17-18 листопада 2016 року). Тези доповіді викладені на двох сторінках у I томі збірника конференції.

**Наукова новизна основних теоретичних та практичних результатів** дипломної магістерської роботи полягає в конкретизації різниці між методами визначення фрактальної розмірності, поясненні їх причин та визначенні факторів що впливають на точність обрахунку.

**Практичне значення отриманих результатів** полягає у можливості їх використання для аналізу структурних змін будь-яких матеріалів без руйнування дослідного зразка у процесі аналізу.

**Структура та обсяг роботи.** Дипломна робота складається із вступу, семи розділів, 17 підрозділів, висновків, переліку посилань із 99 літературних джерел, та 15 аркушів графічного матеріалу. Основний зміст викладено на 148 сторінках, робота містить 31 рисунок та таблиць.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ

Дослідження складається з наступних основних етапів: бінаризація оригінального чорно-білого зображення, його фільтрації та повторна бінаризація отриманого зображення.

Для того щоб встановити положення тріщини відносно кожного пікселя необхідно визначити чи пікселі належать до поверхні тріщини чи до фону. Ця завдання було виконана за допомогою бінаризація. У бінарному зображенні білі Аналіз тріщини поверхню зображень проводили з використанням програмного забезпечення «Fractalys», розробленого науковцем Gilles Vuidel, який був попередньо протестований на моделі образу килимка Серпінського.

Програмне забезпечення Fractalys є розробкою компанії дослідницької групи «Mobilities, city and transport» науково-дослідного центру TheMA. Програма є результатом кількохрічної науково-дослідницької роботи Pierre Frankhauser та Cécile Tannier. Графічний інтерфейс програми (рис. 1) зручний для користувачів різного рівня володіння персональним комп'ютером.

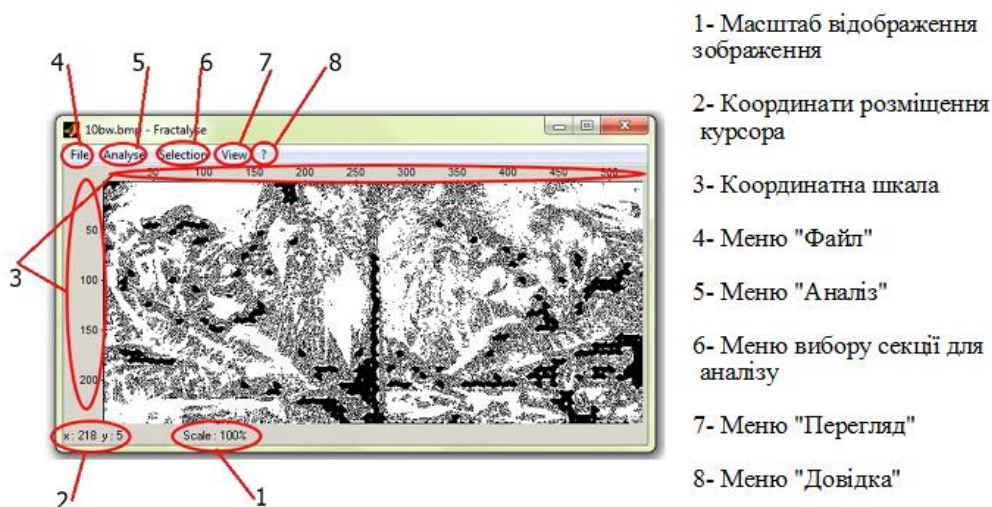


Рисунок 1. Вікно програми fractalys після обрання зображення для аналізу

Програма «Fractalys» дозволяє провести аналіз та визначити фрактальну розмірність кількома методами:

1. Сітка (grid)
2. Радіус маси (radius mass)
3. Розширення (dilation)
4. Кореляція (correlation)

5. Згортки Гауса (gaussian convolution)
6. Коробковий підрахунок (box-counting)
7. Мережа (Network)

Дослідження проводили за алгоритмом, поданим на рисунку 2.

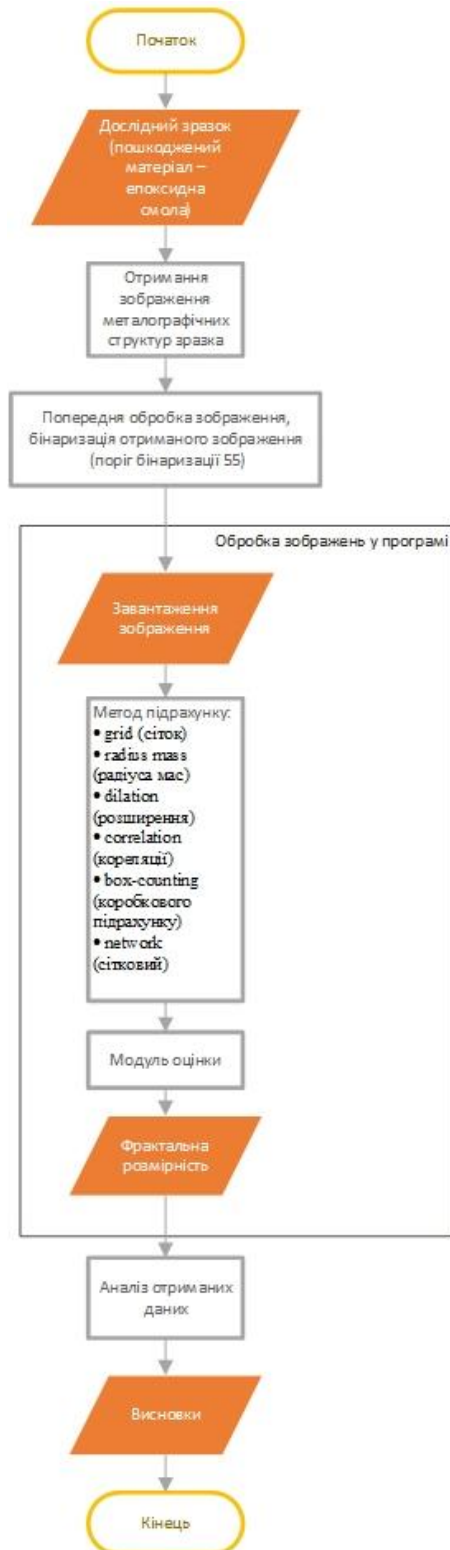

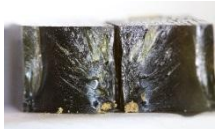




Рисунок 1. Алгоритм дослідження фрактальної розмірності

У результаті обробки та аналізу фотографій чотирьох дослідних зразків були отримані наступні результати (таблиця 1).

Таблиця 1. – Результати обробки зображень дослідних зразків у програмі fractalyse

Вихідний зразок		Досліджуваний зразок			
		1	2	3	4
Метод дослідження	Опції				
Radius mas	Quadratic, Barycentre	1.773	1.71	1.768	1.71
Box...	Exponential, Grid	1.722	1.7431	1.797	1.81
	Linear, Grid	1.665	1.656	1.68	1.689
Dilation	Number of dilation: 2	1.717	1.786	1.734	1.61
Correlation	Quadratic, Default	1.734	1.86	1.768	1.742
	Quadratic, Symetric	1.758	1.878	1.768	1.769
	Quadratic, White	1.734	1.86	1.768	1.742
	Quadratic, Internal	1.75	1.881	1.787	1.76

Неоднорідність структури композитних матеріалів спричинена процесами консолідації в тому чи іншому вигляді присутніх в технології виготовлення. На протязі усієї консолідації структура дисперсної системи є фрактальною.

Аналіз особливостей кожного методу визначення фрактальної розмірності та алгоритму підрахунку, а також величина похибки, що виникає при застосуванні кожного з методів привів до вибору методу кореляції як найточнішого саме для даного випадку. Результати говорять про значні руйнування та неупорядкованість у зразку №11. Враховуючи незворотність та динаміку розвитку процесів у композитних матеріалах можна стверджувати що пошкодження, наявні у цьому зразку, приведуть до повного руйнування.

Аналіз енергоємності руйнування композиту говорить що при динамічному деформуванні в матеріалі створюється розвинена ієрархія структурних рівнів деформації (мікро-, макро-), яка обумовлює самоузгоджене деформування і руйнування всього обсягу матеріалу. Розвиток мікротріщин (мікровідколів) обумовлений малою величиною зсувної деформації, додатково обмеженою наявністю частинок зміцнюючої фази. Визначальним є мікрорівень (при старті тріщини), просування фронту тріщини визначається макромеханізмами руйнування.

Отримані значення  $D$  свідчать про упорядкований стан структури, при якій морфологія окремих елементів сітки тріщин зберігається. Залежність фрактальної розмірності від числа виявлених одиночних і спільних тріщин встановлюється.

## ВИСНОВКИ

Фрактальний аналіз є перспективним методом дослідження і, враховуючи його постійний розвиток, скоро застосовуватиметься обширно не тільки у матеріалознавстві, а й інших сферах. Сама теорія фракталів дозволяє говорити про певну прогнозованість розвитку структурних змін.

Пропонований оптико-цифровий аналіз є простим в експлуатації і в той же час дає експрес оцінку стану досліджуваного зразка без використання дороговартісних важкодоступних методів, він значно спрощує, а, отже, і пришвидшує процес аналізу дослідних зразків.

У нашому випадку для дослідження необхідна наявність програми для бінаризації отриманого зображення (CoralDraw) та програми для підрахунку фрактальної розмірності (fractalyse).

Провівши дослідження і проаналізувавши отримані за допомогою програми дані можна стверджувати що найточніші дані при визначенні фрактальної розмірності досліджуваних зразків надає метод кореляції, значення фрактальної розмірності для досліджуваних зразків номер 10, 11, 12 та 13



становить відповідно 1.734, 1.86, 1.768, 1.742. Структура зразка №11 є більш неоднорідною що говорить про значні руйнування

Результати дослідження можна використати при визначенні взаємозв'язку між фрактальною розмірністю та енергоємністю зразків, для дослідження швидкості протікання руйнувань в матеріалах.

Системи автоматизованої мікроскопії постійно вдосконалюються і є причини надій на подальше впровадження у різні сфери як дослідної так і виробничої діяльності.

### **Анотація**

**Тема: «Розроблення автоматизованого методу оцінювання руйнування композитних матеріалів за даними фрактального аналізу»**

**Магістерська робота:** 148 с. пояснювальної записки, 15 аркушів графічного матеріалу, 99 літературних джерел.

**Об'єкт** дослідження: фотознімки структурних руйнувань чотирьох зразків композиту ЕД-20 після пошкодження.

**Метою** роботи є розроблення такого автоматизованого методу оцінки руйнування матеріалу, який буде одночасно недороговартісним, ефективним та нескладним у використанні, тобто таким, що зможе принести користь навіть не надто досвідченим у цьому питанні спеціалістам.

**Методи дослідження:** оптико-цифровий аналіз.

Проаналізовано наявні у програмі «Fractalyse» методи визначення фрактальної розмірності матеріалів, їх переваги та недоліки. Обрано оптимальні для аналізу досліджуваних зразків.

Результати дослідження можна використати при визначенні взаємозв'язку між фрактальною розмірністю та енергоємністю зразків, для дослідження швидкості протікання руйнувань в матеріалах.

**Ключові слова:** фрактал, фрактальна розмірність, руйнування, композит, композитні матеріали, пошкодження, автоматизація.

## Аннотация

**Тема: «Разработка автоматизированного метода оценки разрушения композитных материалов по данным фрактального анализа»**

**Магистерская работа:** 148 с. пояснительной записки, 15 листов графического материала, 99 литературных источников.

**Объект исследования:** фотоснимки структурных разрушений четырех образцов композита ЕД20 после повреждения.

**Целью работы** является разработка такого автоматизированного метода оценки разрушения материала, который будет одновременно дешевый, эффективным и несложным в использовании, то есть таким, что сможет принести пользу даже не слишком опытным в этом вопросе специалистам.

**Методы исследования:** оптико-цифровой анализ.

Проанализированы имеющиеся в программе «Fractalyse» методы определения фрактальной размерности материалов, их преимущества и недостатки. Избран оптимальные для анализа исследуемых образцов метод.

**Результаты** исследования можно использовать при определении взаимосвязи между фрактальной размерностью и энергоемкостью образцов, для исследования скорости протекания разрушений в материалах.

**Ключевые слова:** фрактал, фрактальная размерность, разрушения, композит, композитные материалы, повреждения, автоматизация.

## Summary

**Theme: "Development of automated method of assessing fracture of composite materials according to fractal analysis"**

**Master's thesis:** 148 pages. explanatory note, 15 pages of graphic material, 99 references.

**The object of the study:** structural damage pictures for four composite samples of ЕД20 after injury.

**The aim** is to develop this automated method for assessing material destruction, which will be simultaneously cheap, effective and easy to use, that is one that will benefit even not very experienced in this matter experts.

**Methods:** digital optical method of analysis.

Analyzes available in the program «Fractalyse» methods of determining the fractal dimension of materials, their advantages and disadvantages. Elected best to analyze the samples.

**Results** of the study can be used in determining the relationship between the fractal dimension and power consumption specimens to study the speed of damage in materials.

**Keywords:** fractal, fractal dimension, fracture, composite, composite materials, damages, automatization.